

VŠB-Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

**Rekonstrukce shazovacích vozů na Dole Bílina a vliv
frekvenčních měničů na náhradní napájení**

**Reconstruction of tripper cars at the Bílina coal mine and
the influence of the frequency convertes to the substitute
power supply**

2014

Bc. JELÍNEK JIŘÍ

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Zadání diplomové práce

Student:

Bc. Jiří Jelínek

Studijní program:

N2649 Elektrotechnika

Studijní obor:

3907T001 Elektroenergetika

Téma:

Rekonstrukce shazovacích vozů na Dole Bílina a vliv frekvenčních měničů na náhradní napájení

Reconstruction of tripper cars at the Bílina coal mine and the influence of the frequency convertes to the substitute power supply

Zásady pro vypracování:

1. Popis pohonů shazovacího vozu
2. Spouštění asynchronních motorů
3. Frekvenční měniče pro pohony shazovacích vozů
4. Měření napětových poměrů při rozjezdu pohonů v původním zapojení a rekonstruovaných pohonů s frekvenčními měniči
5. Porovnání variant

Seznam doporučené odborné literatury:

1. Hradílek Z. : Elektroenergetika distribučních a průmyslových sítí, VŠB-TUO, Ostrava, 2008
2. Neborák I., Sládeček V.: Elektrické pohony, VŠB - TUO, Ostrava, 2004.
3. Průvodní technická dokumentace frekvenčních měničů.
4. Průvodní dokumentace shazovacího vozu SV 1800
5. ČSN 60204-1. Požadavky na bezpečnost strojů, Elektrické zařízení strojů. Díl 1.
6. ČSN 50178. Elektronická zařízení, včetně silové elektroniky a v silnoproudých elektrických zařízeních.
7. ČSN 61800-2. Elektrické pohonné systémy pro řízení otáček. Díl 2
8. ČSN 61800-3. Elektrické pohonné systémy pro řízení otáček. Díl 3.
9. ČSN 61800-5-1. Elektrické pohonné systémy pro řízení otáček. Díl 5.

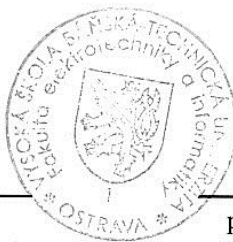
Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Tadeusz Sikora, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2013

Datum odevzdání: 07.05.2014

prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení

„Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“



Jiří Jelínek

Datum odevzdání: 6. 5. 2014

Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval panu Ing. Sikorovi Ph. D. za odborný dohled a cenné připomínky při tvorbě této diplomové práce.

Abstrakt

Náhradní napájení pro pojezd shazovacích vozů na Dole Bílina je řešeno pomocí dieselagregátů. Protože elektrozařízení některých shazovacích vozů již dosahuje hranici životnosti, dochází k jeho postupné rekonstrukci. Tato diplomová práce seznamuje s rekonstrukcí elektrozařízení shazovacích vozů, kde se pro spuštění pohonů pojezdu nově využívá frekvenčních měničů. Diplomová práce zkoumá napěťové poměry při pojezdu shazovacího vozu s původním elektrozařízením a napěťové poměry rekonstruovaného shazovacího vozu s frekvenčními měniči při provozu na náhradní napájení pomocí dieselagregátu.

Klíčová slova

shazovací vůz, náhradní napájení, dieselagregát, frekvenční měnič

Abstract

Replacement power supply for tripper cars to travel in Doly Bílina is provided by diesel generators. Because electrical equipment of some tripper cars already reaches the end of their lifetime, there is a gradual reconstruction. This thesis introduces the reconstruction of electrical equipment tripper cars. This tripper car uses the new frequency converters. This thesis examines stress conditions when driving a tripper car with the original electrical equipment and voltage ratios and a reconstructed tripper car with frequency converters operating on alternative power using a diesel generator.

Key words

Tripper car, replacement power, diesel generator, frequency convert

Seznam použitých zkratek

SVH	shazovací vůz housenicový	
DPD	dálkový pasový dopravník	
AM	asynchronní motor	
FM	frekvenční měnič	
ω	úhlová frekvence	(s ⁻¹)
f	frekvence	(Hz)
p	počet pólů	(-)
P _N	jmenovitý výkon	(W)
s	skluz	(-)
ϕ	magnetický tok	(Wb)
U _N	jmenovité napětí	(V)
Z	zdánlivá impedance	(Ω)

Obsah

Úvod.....	1
1. Popis pohonů shazovacího vozu	2
1.1 Shazovací vůz SVH 2250.....	2
1.1.1 Technické parametry shazovacího vozu SVH 2250 [3].....	3
1.1.2 Hlavní části shazovacího vozu SVH 2250	3
1.2 Pohony shazovacího vozu SVH 2250	3
1.2.1 Pohon vynášecího pásku	4
1.2.2 Pohon otoče vynášecího pásku.....	4
1.2.3 Pohon zdvihu vynášecího pásku.....	5
1.2.4 Pohon zdvihu náběžníku	5
1.2.5 Pojezd shazovacího vozu SVH 2250.....	5
1.2.6 Pohon natáčení housenicových podvozků.....	6
1.3 Shazovací vůz SVH 1800.....	8
1.3.1 Technické parametry shazovacího vozu SVH 1800 [7].....	8
1.3.2 Hlavní části shazovacího vozu SVH 1800	9
1.3.3 Pohon vynášecího pásku	9
1.3.4 Pohon otoče vynášecího pásku.....	9
1.3.5 Pohon zdvihu vynášecího pásku.....	9
1.3.6 Pohon zdvihu náběžníku shazovacího vozu	10
1.3.7 Pohon pojezdu shazovacího vozu SVH 1800.....	10
1.3.8 Pohon natáčení housenicového podvozku.....	11
2. Spouštění asynchronních motorů	13
2.1 Asynchronní motor.....	13
2.1.1 Rozdělení asynchronních motorů.....	13
2.1.2 Konstrukce asynchronních motorů.....	13
2.1.3 Princip činnosti asynchronního motoru.....	16
2.1.4 Momentová charakteristika asynchronního stroje.....	18
2.2 Spouštění asynchronních motorů s kotvou nakrátko.....	18

2.2.1	Všeobecné zásady spouštění asynchronních motorů.....	18
2.2.2	Druhy spouštění motorů s kotvou nakrátko	19
2.2.3	Přímé připojení asynchronního motoru s kotvou nakrátko k síti.....	19
2.2.4	Přepínač hvězda – trojúhelník	20
2.2.5	Spouštění AM s kotvou nakrátko pomocí transformátoru	22
2.2.6	Spouštění AM s kotvou nakrátko pomocí rozběhové spojky	23
2.2.7	Další možnosti snížení záběrného proudu a zvýšení momentu.....	23
2.3	Spouštění asynchronního motoru s kroužkovou kotvou	26
2.4	Spouštění asynchronních motorů na Dole Bílina	28
2.4.1	Spouštění asynchronních motorů o výkonu 1 MW na Dole Bílina.....	28
2.4.2	Polovodičové rotorové spouštěče TE – 25	29
3.	Frekvenční měniče pro pohony shazovacích vozů.....	30
3.1	Základní popis frekvenčních měničů	30
3.1.1	Hlavní části frekvenčního měniče	30
3.1.2	Blokové schéma frekvenčního měniče.....	31
3.1.3	Řízení frekvenčních měničů.....	31
3.2	Frekvenční měniče pro pohony SVH 1800	32
3.2.1	Frekvenční měnič SINAMICS S 120.....	33
3.2.2	Frekvenční měnič SINAMICS G 120	33
4.	Měření napěťových poměrů při rozjezdu pohonů v původním zapojení a rekonstruovaných pohonů s frekvenčními měniči.....	34
4.1	Náhradní zdroj napájení pro SVH – dieselagregát GEP 550 – 2.....	35
4.1.1	Popis dieselagregátu GEP 550 – 2	36
4.1.2	Schéma zapojení dieselagregátu na SVH.....	37
4.1.3	Schéma zapojení pohonu podvozku SVH 2250	38
4.1.4	Schéma zapojení pohonu podvozku SVH 1800	39
4.2	Měření vlivu rozjezdu pohonů pojezdu na shazovacích vozech na napětí náhradního zdroje.....	40
4.2.1	Měřicí přístroj.....	40
4.3	Naměřené hodnoty na SVH 2250.....	41

4.3.1	Průběh napětí při zapnutí pojezdu shazovacího vozu.....	41
4.3.2	Průběh proudu při zapnutí pojezdu shazovacího vozu	44
4.4	Naměřené hodnoty na SVH 1800.....	45
4.4.1	Průběh napětí při zapnutí pojezdu shazovacího proudu	45
4.4.2	Průběh proudu při zapnutí pojezdu shazovacího vozu	46
5.	Porovnání variant	47
5.1	Porovnání rekonstrukcí shazovacích vozů	47
5.2	Porovnání způsobů spouštění pojezdů shazovacího vozu	48
	Závěr	50
	Seznam použité literatury.....	51
	Elektronické zdroje	52
	Seznam obrázků	53
	Seznam grafů	54
	Seznam tabulek	54
	Přílohy.....	54

Úvod

Shazovací vůz je technické zařízení, které je součástí technologického celku na povrchových dolech. Technologický celek je tvořen dobývacím strojem, dálkovými pasovými dopravníky, shazovacím vozem a zakladačem. Dobývací stroj odtěží nadložní zeminu, která se nachází nad uhelným ložiskem. Pomocí pojízdné násypky se zemina umístí na dopravník dálkové pasové dopravy. Několik takových dopravníků zeminu dopraví na místo výsypky. Zde je takto vytěžené nadloží ukládáno pomocí zakladače do tvaru skrývkové výsypky. K přemístění nadloží na zakladač slouží shazovací vůz.

Některé shazovací vozy byly uvedeny do provozu již před třiceti lety a jejich elektrozařízení se až na nepatrné výjimky téměř nezměnilo. Elektrozařízení se tak dostalo již na hranici životnosti. V poslední době se do obnovy elektrozařízení shazovacích vozů vkládají nemalé prostředky. Shazovací vozy byly vybaveny dieselagregátem, který slouží jako náhradní napájení pro pohony pojezdu shazovacího vozu. To je využíváno hlavně při přestavbách dálkových pasových dopravníků, kdy je shazovací vůz odpojen od svého stálého napájení a musí se přemístit někdy až o stovky metrů.

Diplomová práce popisuje rekonstrukci pohonů pojezdu shazovacího vozu a vliv pohonů pojezdu na napětí z dieselagregátu při transportu shazovacího vozu. Z části tak navazuje na mojí bakalářskou práci, ve které jsem popisoval náhradní napájení shazovacích vozů pomocí dieselagregátu.

1. Popis pohonů shazovacího vozu

1.1 Shazovací vůz SVH 2250

Shazovací vůz typu SVH 2250 patří k největším shazovacím vozům na Dole Bílina. Do provozu byl nasazen v roce 1991. V roce 2004 prošel shazovací vůz částečnou rekonstrukcí, při které došlo k výměně kabeláže, původní dvě rozvodny byly nahrazeny rozvodnou jedinou, ve které je umístěna jak část vysokonapěťová, tak i část nízkonapěťová. Při rekonstrukci byl nahrazen i původní řídicí systém. Původní zůstaly motory všech pohonů, rotorové spouštěče a všechny strojní součásti.



Obr. 1 Celkový pohled na shazovací vůz typu SVH 2250 (1- náběžníková část, 2- hlavní smyčková část, 3- vynášecí pásek s protizávažím, 4- housenicové podvozky)

1.1.1 Technické parametry shazovacího vozu SVH 2250 [3]

Celková hmotnost	810 t
Teoretický dopravní výkon	10 000 m ³ /hod
Napájení	6 kV, 50 Hz
Celkový instalovaný výkon	1070 kW
Systém pojezdu	4 housenicové podvozky
Rychlost pojezdu	0,1 m/s
Rychlost vynášecího pásku	5,7 m/s

1.1.2 Hlavní části shazovacího vozu SVH 2250

Z hlediska jednotlivých funkcí lze shazovací vůz rozdělit na několik částí. Hlavní a největší část shazovacího vozu tvoří smyčková část. Na ní jsou umístěny obě rozvodny. V jedné se nachází silový transformátor a ovládací transformátor, ve druhé vysokonapěťová část. Za rozvodnami je umístěn dieselagregát, který slouží jako zdroj náhradního napájení pro pojezdy shazovacího vozu, pokud je shazovací vůz odpojen od stálého napájení. Hlavní smyčková část je usazena na čtyřech housenicových podvozcích. Housenicové podvozky slouží k pohybu shazovacího vozu. Další částí shazovacího vozu je náběžník s kabinou obsluhy a vynášecí pásek, kde je pomocí štítu vytěžený materiál z dálkového pasového dopravníku umístěn do sýpky zakladače.

1.2 Pohony shazovacího vozu SVH 2250

Hlavní pohony shazovacího vozu jsou:

- Pohon vynášecího pásku
- Zdvih vynášecího pásku
- Otoč vynášecího pásku
- Zdvih náběžníkové části shazovacího vozu
- Pojezd shazovacího vozu
- Natáčení housenicových podvozků

Tyto pohony slouží k zajištění základních funkcí shazovacího vozu. K zajištění správné funkčnosti jednotlivých hlavních pohonů slouží pomocné pohony.

Pomocné pohony shazovacího vozu jsou:

- Napínání vynášecího pásu
- Regulace vynášecího pásu
- Mazání převodovek
- Mazání otočných částí shazovacího vozu
- Elektrohydraulické brzdy
- Naklápění štítů v přesypech shazovacího vozu

1.2.1 Pohon vynášecího pásu

Pohon vynášecího pásu je tvořen dvěma motory. Jedná se o asynchronní motory s kroužkovou kotvou typu ARK 450 U-6 na napětí 6 kV o výkonu 315 kW. Otáčky motorů jsou 990 otáček za minutu, jmenovitý proud je 35 A. Pro spuštění motorů jsou ve vysokonapěťové části rozvodny dva vakuové stykače typu VRC7, 7,2 kV, 450 A. Výrobcem je firma ABB. Rozběh je zajištěn rotorovými vzduchovými spouštěči typu SPAR 1 MSR 2. Rotorový spouštěč má 12 odporových stupňů. Spouštěče jsou vybaveny ventilátorem, který je v chodu při každém spuštění pohonů. K řízení spuštění obou motorů slouží regulátor AS 001 se základním řízením časovým a nadřazeným řízením podle hodnoty proudu. Oba motory jsou kompenzovány individuálně třífázovými kondenzátory 50 kVAr. Tyto motory nahradily při rekonstrukci shazovacího vozu motory původní typu 1 K4 355 Y-4, které měly stejný výkon 315 kW, ale měly vyšší otáčky 1500 otáček za minutu. Výměna motorů proběhla z důvodu nižšího opotřebení strojních částí a gumového pásu vynášecího pásu. [5]

1.2.2 Pohon otoče vynášecího pásu

Otoč vynášecího pásu je poháněna motorem s kotvou nakrátko o výkonu 3 kW, na napětí 500 V. Jedná se o motor typu 7 AA 132 S 06. Při spuštění pohonu otoče se zároveň spustí brzda otoče, mazání převodovky otoče a mazání ozubeného věnce otoče. Brzda je elektrohydraulická typu EP 20/50 P 20, čerpadlo mazání převodovky pohání motor typu 4 AP 90 S-4 o výkonu 1,1 kW, mazací přístroj ozubeného věnce má motor typu 63 Z 2 o výkonu 0,75 kW. Krajní polohy otoče vynášecího pásu jsou omezeny pracovními a bezpečnostními koncovými vypínači. [5]

1.2.3 Pohon zdvihu vynášecího pásku

Zdvih vynášecího pásku zajišťuje motor s kotvou nakrátko typu C 200 LK 08, který je součástí vrátku. Motor je na napětí 500 V o výkonu 15 kW. Součástí pohonu jsou dvě elektrohydraulické brzdy typu EP 50/50 P-50. Jedna brzda je provozní, druhá zajišťovací. Obě odbrzdí současně při spuštění motoru zdvihu, po zastavení zabrzdí provozní brzda ihned, zajišťovací brzda po 1 s. Krajiní polohy zdvihu jsou hlídány provozními a bezpečnostními koncovými vypínači. [5]

1.2.4 Pohon zdvihu náběžníku

Zdvih náběžníkové části shazovacího vozu je zcela totožný s pohonem zdvihu vynášecího pásku shazovacího vozu včetně dvou elektrohydraulických brzd, jedné provozní a druhé zajišťovací. [5]

1.2.5 Pojezd shazovacího vozu SVH 2250

Pojezd shazovacího vozu tvoří čtyři housenicové podvozky.



Obr. 2 Housenicový podvozek shazovacího vozu SVH 2250

Každý z podvozků má vlastní motor s kroužkovou kotvou typu P 280 M 08. Jedná se o motor o výkonu 55 kW na napětí 500 V. Spouštění motorů je provedeno pomocí rotorových stykačů typu R 1-P 3-S 35 ve čtyřech stupních, vyřazovaných třemi stykači v závislosti na čase. Časy jsou pevně nastavené na 1 s. Součástí každého pohonu housenicového podvozku je elektrohydraulická brzda typu EPN 2500-60-P 2000, která se uvede v činnost současně se zapnutím motoru pojezdu. Rychlost pojezdu je hlídána indukčním čidlem. Indukční čidlo vyhodnocuje dva stavy rychlosti, rychlost 20 %, což je podmínka pro možnost natáčení housenicových podvozků, a rychlost vyšší jak 120 %, kdy je hodnota vyhodnocena jako nadměrná rychlost a dojde k vypnutí pojezdových motorů a zapůsobení brzd podvozků (například při jízdě z kopce). [5]

1.2.6 Pohon natáčení housenicových podvozků

Každý z housenicových podvozků má pro natočení asynchronní motor s kotvou nakrátko typu VC 225 M 25- Vi 99. Jedná se o dvouvínutový a tedy dvourychlostní motor o výkonu 19/22 kW a otáčkách 980/1480 otáček za minutu.

Natáčení zadního i předního páru housenicových podvozků je na sobě nezávislé, takže mohou být natočeny například zadní podvozky vpravo a přední podvozky vlevo nebo v jiné libovolné kombinaci. Housenicové podvozky v jednom páru (přední nebo zadní podvozek) jsou řídicím systémem udržovány neustále v rovnoběžné poloze. Do řídicího systému vstupuje signál z čidel indikujících skutečný úhel natočení každého podvozku. Akčním členem jsou motory pro natáčení podvozku shazovacího vozu. Udržování rovnoběžnosti příslušného páru housenicových podvozků je na druhém páru housenicových podvozků nezávislé. Minimální poloměr natočení shazovacího vozu je 80 metrů. Pokud dojde při pojezdu shazovacího vozu k natočení určitého páru housenicových podvozků, řídicí systém automaticky zapne motor na vnější straně oblouku pojezdové dráhy na vyšší rychlost, aby z důvodu delší dráhy nedošlo k narušení rovnoběžnosti podvozků v tomto páru. [5]

Pro přehlednost uvádím všechny použité motory hlavních pohonů shazovacího vozu SVH 2250, včetně jejich způsobu spouštění.

NÁZEV POHONU	P _N (kW)	U _N (V)	TYP MOTORU	SPOUŠTĚNÍ AM	POČET KUSŮ
HLAVNÍ MOTORY VYNÁŠECÍHO PÁSKU	315	6000	ARK 450 U- 6	ROT.SPOUŠTĚČ (12 STUPŇŮ)	2
MOTOR POJEZDU	55	500	P 280 M08	ROT.SPOUŠTĚČ (4 STUPNĚ)	4
MOTOR NATÁČENÍ HOUSENIC	22	500	VC 225 M25	PŘÍMO STYKAČEM	4
MOTOR ZDVIHU NÁBĚŽNÍKU	15	500	C 200 LK08	PŘÍMO STYKAČEM	1
MOTOR ZDVIHU VYNÁŠECÍHO PÁSKU	15	500	C 200 LK08	PŘÍMO STYKAČEM	1
MOTOR OTOČE VYNÁŠECÍHO PÁSKU	3	500	7 AA 132 S 06	PŘÍMO STYKAČEM	1
ELEKTROHYDRAULICKÁ BRZDA OTOČE	0,5	500	EP 20/50 P 20	PŘÍMO STYKAČEM	1
ELEKTROHYDRAULICKÁ BRZDA ZDVIHU PÁSKU	0,5	500	EP 50/50 P50	PŘÍMO STYKAČEM	2
ELEKTROHYDRAULICKÁ BRZDA ZDVIHU NÁBĚŽNÍKU	0,5	500	EP 50/50 P50	PŘÍMO STYKAČEM	2
ELEKTROHYDRAULICKÁ BRZDA POJEZDU	0,5	500	EPN 2500- 60-P2000	PŘÍMO STYKAČEM	4

Tab. 1 Motory hlavních pohonů SVH 2250 [5]

V tabulce 1 jsou žlutě zvýrazněny motory, které jsou spuštěny při pojezdu shazovacího vozu a ovlivní tak měření napěťových poměrů.

1.3 Shazovací vůz SVH 1800

Shazovací vůz SVH 1800, nasazený na druhém skrývkovém řezu na Dole Bilina, je nejnověji rekonstruovaný shazovací vůz. Rekonstrukce proběhla v roce 2013. Při rekonstrukci došlo k výměně veškeré kabeláže, rozvoden, motorů, řídicího systému a kabiny s ovládáním.



Obr. 3 Shazovací vůz SVH 1800

1.3.1 Technické parametry shazovacího vozu SVH 1800 [7]

Celková hmotnost	690 t
Teoretický dopravní výkon	7500 m ³ /hod
Napájení	6 kV, 50 Hz
Celkový instalovaný výkon	1260 kW
Systém pojezdu	4 housenicové podvozky
Rychlost pojezdu	6 m/min
Rychlost vynášecího pásku	5,2 m/s

1.3.2 Hlavní části shazovacího vozu SVH 1800

Hlavní části shazovacího vozu SVH 1800 jsou vzhledem k funkci shazovacího vozu totožné jako u ostatních shazovacích vozů. Jedná se o hlavní smyčkovou část s rozvodnami a dieselaagregátem, housenicovými podvozky, vynášecím páskem a oběžníkovou částí s kabinou obsluhy. Změna nastává pouze v technickém provedení pohonů jednotlivých pohybů shazovacího vozu.

1.3.3 Pohon vynášecího pásku

Pohon vynášecího pásku je zajištěn dvěma motory typu 1 LA8 355-6PM 80-Z. Motory jsou na napětí 690 V o výkonu 250 kW. Otáčky motorů jsou 990 otáček za minutu. Výrobce je firma Siemens. Řízení každého motoru je umožněno pomocí střídače Sinamics S 120 o výkonu 400 kW. Vývody k motorům jsou řešeny stíněnými kabely KOMPOSPEED 600 C. Součástí pohonu jsou elektrohydraulické brzdy typu EB 1250-60 C 125, které jsou uvedeny v činnost stykačem pomocí řídicího systému zároveň s motory vynášecího pásku. Napájení elektrohydraulických brzd je 400 V. [7]

1.3.4 Pohon otoče vynášecího pásku

Pohon otáčení vynášecího pásku je zajištěn motorem typu DRS 112 M6 BE 11. Výrobce je firma SEW. Motor je na napětí 400 V o výkonu 3 kW. Otáčky motoru jsou 940 otáček za minutu. Motor je vybaven integrovanou brzdou na napětí 230 V. Řízení pohonu je řešeno frekvenčním měničem firmy Siemens, typ SINAMICS G 120 o výkonu 7,5 kW.

Provozní krajní polohy otoče jsou hlídány indukčními čidly, havarijní polohy otoče jsou jištěny mechanickými koncovými vypínači, které při najetí do této polohy zajišťují vypnutí přívodního napětí 400 V a zastavení dalšího pohybu pohonu. [7]

1.3.5 Pohon zdvihu vynášecího pásku

Pohon zdvihu vynášecího pásku je tvořen kladkostrojem, který je poháněn motorem typu 1LG6 206-6AA-Z. Výkon motoru je 18,5 kW. Motor je na napětí 400 V. Otáčky motoru jsou 990 otáček za minutu. Výrobce je firma Siemens. Motor je ovládán pomocí střídače SINAMICS S 120. Součástí pohonu jsou i dvě elektrohydraulické brzdy typu EB 500-60 C 180, z nichž jedna pracuje jako brzda provozní, druhá je brzdou zajišťovací pracující při zastavení pohonu s časovým zpožděním 1 s. [7]

1.3.6 Pohon zdvihu náběžníkové části shazovacího vozu

Pohon zdvihu náběžníkové části shazovacího vozu SVH 1800 je zcela totožný s pohonem zdvihu vynášecího pásu. [7]

1.3.7 Pohon pojezdu shazovacího vozu SVH 1800

Pojezd shazovacího vozu tvoří čtyři housenicové podvozky.



Obr. 4 Pohon pojezdu shazovací vozu SVH 1800

Každý housenicový podvozek je poháněn samostatně motorem typu 1LG6 283-A60-Z. Motor je na napětí 400 V o výkonu 55 kW. Otáčky motoru jsou 990 otáček za minutu. Výrobcem je firma Siemens. Každý motor je ovládán střídačem SINAMICS S 120. Součástí každého pohonu housenic je elektrohydraulická brzda typu EB 1250-60 C 125 na napětí 400 V. [7]

1.3.8 Pohon natáčení housenicového podvozku

Proti ostatním shazovacím vozům na Dole Bílina, kde natáčení housenic je řešeno elektromechanickým pohonem (elektromotor s převodovkou otáčí šroubovici, která natáčí konstrukci housenicového podvozku), je na shazovacím voze SVH 1800 k natočení housenicového podvozku použit pohon elektrohydraulický. Na každé konstrukci podvozku jsou umístěny do písmene V dvě hydraulické pístnice a pomocí hydraulického agregátu je podvozek natáčen na jednu či druhou stranu. Na každé straně hlavní smyčkové části shazovacího vozu je umístěn elektrohydraulický agregát, jeden pro natáčení levých podvozků, druhý pro natáčení pravých podvozků shazovacího vozu.

Každý agregát je poháněn motorem o výkonu 15 kW. Motory jsou na napětí 400 V. Aktuální poloha housenic je snímána lineárními snímači typu PVM 58 N-011 AGROBN a vyhodnocována řídicím systémem shazovacího vozu. Hlídaní rovnoběžnosti předního nebo zadního páru housenicových podvozků je již shodné jako u shazovacího vozu SVH 2250. [7]

Pro přehlednost uvádím v tabulce 2 všechny typy použitých motorů hlavních pohonů shazovacího vozu SVH 1800 včetně řízení těchto motorů.

NÁZEV POHONU	P _N (kW)	U _N (V)	TYP MOTORU	SPOUŠTĚNÍ AM	POČET KUSŮ
HLAVNÍ MOTORY VYNÁŠECÍHO PÁSKU	250	690	1 LA8 355- 6PM 80-Z	SINAMICS S 120	2
MOTOR POJEZDU	55	400	1LG6 283- A60-Z	SINAMICS S 120	4
MOTOR ZDVIHU NÁBĚŽNÍKU	18,5	400	1LG6 206- 6AA-Z	SINAMICS S 120	1
MOTOR ZDVIHU VYNÁŠECÍHO PÁSKU	18,5	400	1LG6 206- 6AA-Z	SINAMICS S 120	1
MOTOR OTOČE VYNÁŠECÍHO PÁSKU	3	400	DRS 112 M6 BE 11	SINAMICS G 120	1
ELEKTROHYDRAULICKÁ BRZDA MOTORŮ VYNÁŠECÍHO PÁSKU	0,5	400	EB 1250-60 C 125	PŘÍMO STYKAČEM	2
ELEKTROHYDRAULICKÁ BRZDA ZDVIHU PÁSKU	0,5	400	EB 500-60 C 180	PŘÍMO STYKAČEM	2
ELEKTROHYDRAULICKÁ BRZDA ZDVIHU NÁBĚŽNÍKU	0,5	400	EB 500-60 C 180	PŘÍMO STYKAČEM	2
ELEKTROHYDRAULICKÁ BRZDA POJEZDU	0,5	400	EB 1250-60 C 125	PŘÍMO STYKAČEM	4

Tab. 2 Motory hlavních pohonů SVH 1800 [7]

V tabulce 2 jsou žlutě zvýrazněny motory, které jsou spuštěny při pojezdu shazovacího vozu a ovlivní tak měření napěťových poměrů.

2. Spouštění asynchronních motorů

2.1 Asynchronní motor

Asynchronní motory patří mezi nejrozšířenější elektromotory. Oblíbené jsou zejména pro svou jednoduchou konstrukci a pro svou spolehlivost. Zároveň vyžadují poměrně malou údržbu a patří k nejlacinějším. Užívají se k pohonům všech možných zařízení, jako jsou ventilátory, čerpadla, kompresory, pásové dopravníky, jeřáby, výtahy, obráběcí stroje, kladkostroje, atd.

2.1.1 Rozdělení asynchronních motorů

Asynchronní motory můžeme rozdělit jednak podle počtu fází statorového vinutí a také podle provedení rotorového vinutí.

Podle počtu fází statorového vinutí rozdělujeme asynchronní motory na

- Jednofázové
- Dvoufázové
- Trojfázové

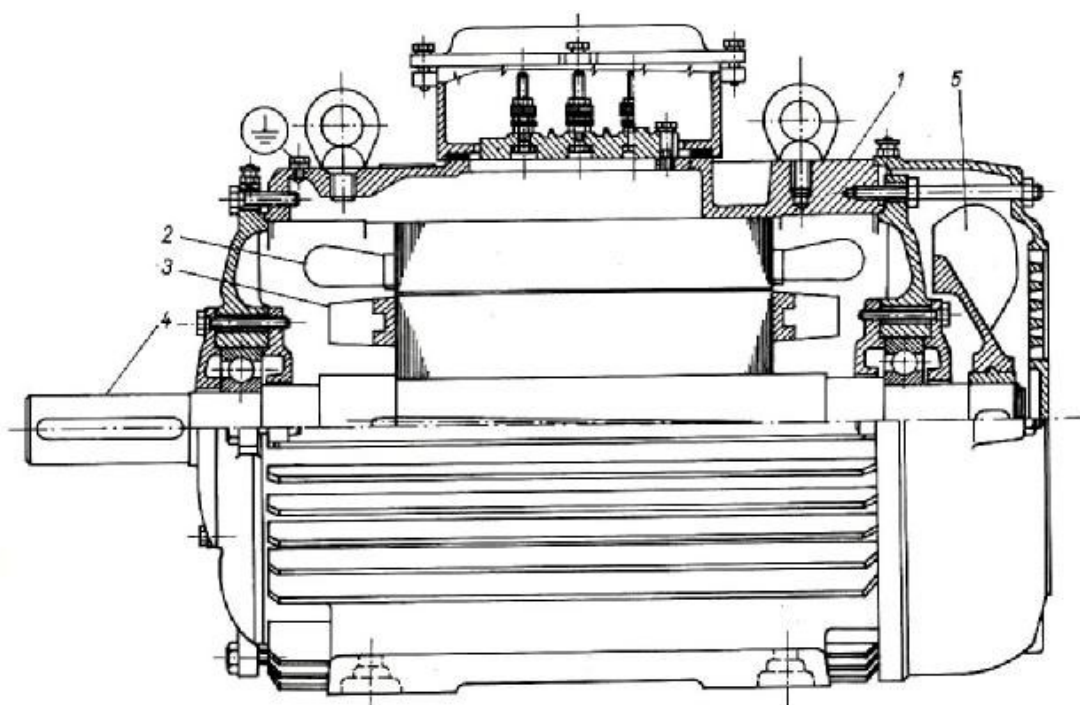
Podle provedení rotorového vinutí na motory

- S kotvou nakrátko (klecové)
- S kotvou kroužkovou

2.1.2 Konstrukce asynchronních motorů

Nejčastěji používané asynchronní motory jsou motory trojfázové. Každý trojfázový motor je složen ze dvou hlavních částí, statoru a rotoru. Stator asynchronního motoru je pevná část a je prakticky u všech typů asynchronních motorů stejná.

Motory s kotvou nakrátko:



Obr. 5 Asynchronní motor s kotvou nakrátko (1- stator, 2- vinutí statoru, 3- rotor, 4- hřídel, 5- ventilátor) [1]

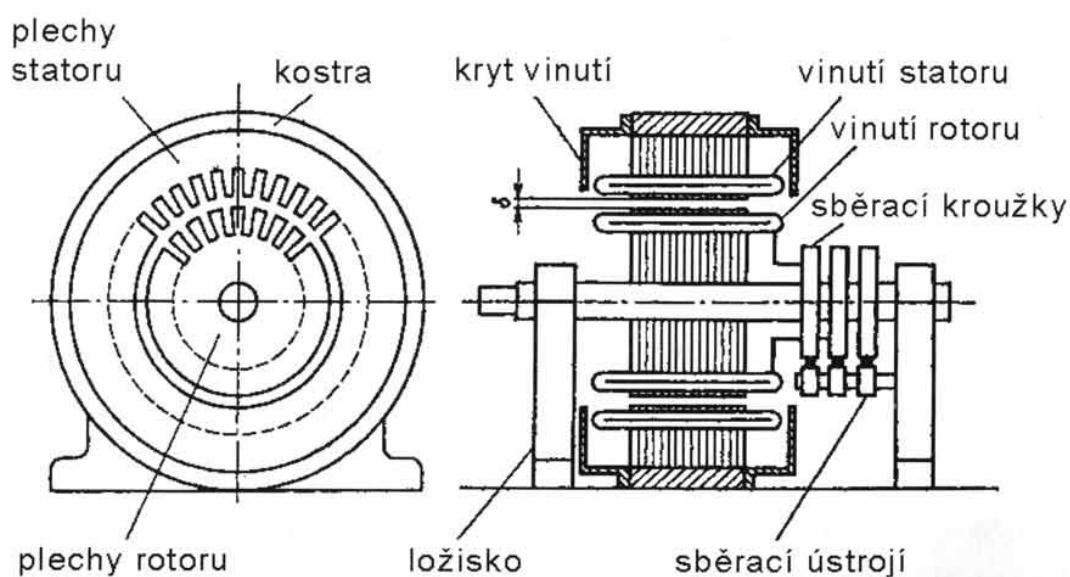
Stator je složen z nosné litinové kostry motoru a dvou ložiskových štítů. Do kostry statoru jsou zalisovány navzájem izolované plechy s drážkami, které tvoří magnetický obvod stroje. Do těchto drážek se vkládá statorové vinutí. Konce statorového vinutí jsou vyvedeny na svorkovnici.

Rotor (kotva) je pohyblivá část motoru. Je sestaven z rotorových plechů nasazených ve svazku na hřídeli a z vodičů v drážkách rotoru. Vodiče jsou tvořeny hliníkovými nebo měděnými tyčkami a jsou na čelních stranách svazku rotorových plechů spojeny nakrátko zkratovacími kroužky. Vodivé tyčky spolu se zkratovacími kroužky mají podobu klece. Hřídel rotoru je uložena v ložiskách, které jsou upevněny v ložiskových štítech statoru. Mezi rotorem a státorem je vzduchová mezera o velikosti 0,2 – 1 mm.

Rotor i stator jsou složeny z jednostranně izolovaných elektroplechů. Touto konstrukcí je prakticky zabráněno ztrátám vířivými proudy.

Asynchronní motory s kotvou nakrátko jsou díky své konstrukci výrobně levné, lehké, nenáročné na údržbu a neruší okolí jiskřením jako komutátorové motory. Slouží jako pohony výrobních strojů malého a středního výkonu. [1]

Motory s kroužkovou kotvou:



Obr. 6 Konstrukce motoru s kroužkovou kotvou [1]

Stator motoru s kroužkovou kotvou má stejnou konstrukci jako motor s kotvou nakrátko. Na hřídeli rotoru jsou kromě svazku rotorových plechů i sběrné kroužky. V drážkách rotorových plechů je uloženo trojfázové vinutí rotoru z izolovaných vodičů, které je zapojeno většinou do hvězdy, zřídka do trojúhelníka. Vinutí rotoru je připojeno na tři sběrací kroužky. Spojení rotorového vinutí s rotorovým spouštěčem je realizováno pomocí přitlačných uhlíkových kontaktů (kartáčů). Rotorový spouštěč slouží k rozběhu motoru i při plném zatížení.

Asynchronní motory s kroužkovou kotvou jsou konstruovány o výkonu několika kW až po výkon MW. Používají se jako pohony přečerpávajících čerpadel, pohony dlouhých pásových dopravníků, drtičů kamene, velkých obráběcích strojů a také jako pohony s velkými výkony a s těžkým rozběhem. [1]

2.1.3 Princip činnosti asynchronního motoru

Základem funkce asynchronního motoru je točivé magnetické pole. Trojfázové vinutí ve statoru a napájené souměrnou soustavou proudů, vytváří točivé magnetomotorické napětí a točivé magnetické pole. Pole má stálý prostorový tvar a otáčí se úhlovou frekvencí podle vzorce 2.1

$$\omega_1 = \frac{2\pi f_1}{p} \quad (2.1)$$

kde p je počet pólových dvojic

Do tohoto magnetického pole vytvořené stojícím trojfázovým vinutím statoru vložíme druhé, podobné vinutí o stejném počtu pólů, které se může otáčet. Je-li rotorové vinutí rozpojeno, neovlivňuje nijak vinutí statoru. Statorovým vinutím všech fází prochází jalový proud zpožděný za fázovým napětím o 90° . Je to proud magnetizační, který vytvoří magnetický tok, indukující podle Lenzova zákona protinapětí $\Delta\Phi / \Delta t$.

V rotorovém vinutí se indukuje napětí o rotorovém kmitočtu podle vzorce

$$f_2 = \frac{\omega_1 - \omega}{2\pi} \cdot p \quad (2.2)$$

Zavedeme-li pojem skluzu

$$s = \frac{\omega_1 - \omega}{\omega_1}, \quad (2.3)$$

můžeme napsat výraz pro rotorový kmitočet (2.4)

$$f_2 = \frac{s \omega_1 p}{2\pi} = s f_1 \quad (2.4)$$

Pokud nyní zapojíme ke sběracím kroužkům tři shodné odpory R spojené do hvězdy, fázemi rotorového vinutí začne procházet proud o kmitočtu f_2 . Rotorové proudy vytvoří točivé magnetomotorické napětí o relativní úhlové rychlosti ω_2 vzhledem k rotoru. Jsou-li proudy ve vodičích rotoru ve fázi s indukovaným napětím (obvod má činný charakter) vzniká točivý moment, který má stejný směr, jako je směr otáčení magnetického toku.

Vzniklý mechanický moment M_{mech} na jeden závit je možné zapsat napsat jako vzorec (2.5)

$$M_{mech} \approx \Phi I_2 \cos \varphi_2 \sin \alpha, \quad (2.5)$$

kde

Φ je magnetický tok magnetu

I_2 je efektivní proud indukovaný v závitě

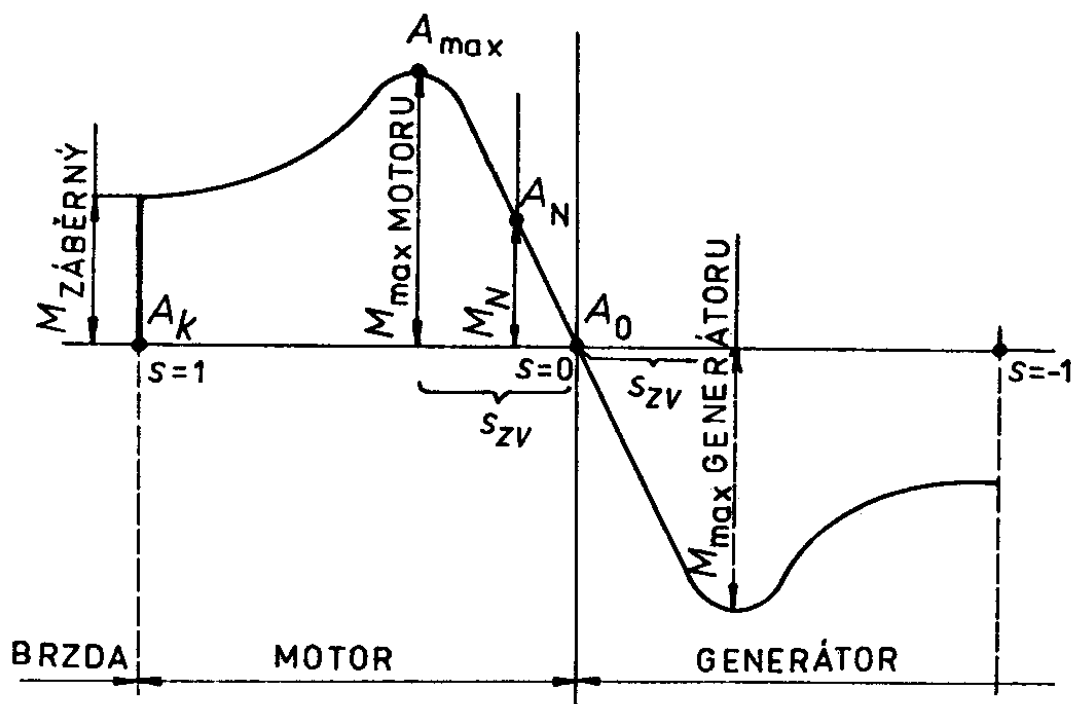
φ_2 je fázový posun mezi napětím a proudem závitu

α je úhel mezi osou magnetického toku magnetů a osou magnetického toku φ_2 proudu I_2 .

Závěry:

- Mechanický moment je tvořen pouze činnou složkou závitu (rotorový obvod musí vždy obsahovat činný odpor)
- Chceme-li změnit směr otáčení motoru, je nutné změnit směr otáčení magnetického pole, což znamená změnit sled fází
- Rotor se nikdy nemůže otáčet stejnými otáčkami jako magnetické pole statoru. Pokud by se tak stalo, pak by se rotor a magnetické pole statoru vůči sobě nepohybovaly a tím by se do vinutí rotoru neindukovalo napětí, netekl by jím proud, nevznikala by točivá síla a moment motoru by byl nulový. Mírou synchronizmu je skluz.
- Otáčky rotoru závisí na kmitočtu napájecího napětí a na počtu pólových dvojic, které vytváří točivé magnetické pole.

2.1.4 Momentová charakteristika asynchronního stroje



Obr. 7 Momentová charakteristika asynchronního stroje [9]

A_0 – chod naprázdno, otáčky odpovídají skluzu naprázdno

A_N – odpovídá hodnotě jmenovitého zatížení

A_{\max} – největší dosažitelný moment, který je motor schopen odevzdat

A_K – zastavení motoru, ze sítě odebírá tzv. zkratový proud

2.2 Spouštění asynchronních motorů s kotvou nakrátko

2.2.1 Všeobecné zásady spouštění asynchronních motorů

Spouštění asynchronních motorů (připojení k síti) je největším problémem asynchronních motorů. Charakteristickým údajem je záběrný proud a jemu odpovídající záběrný moment. Snahou je, aby záběrný proud byl co nejmenší a záběrný moment co největší.

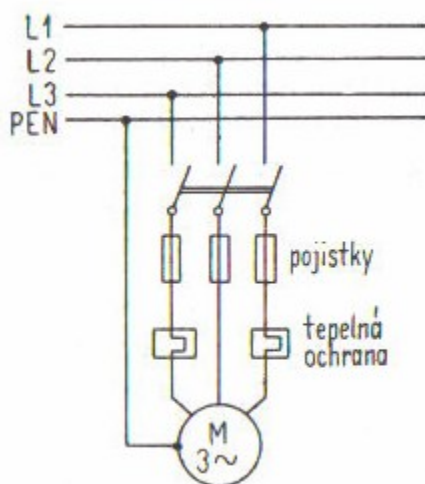
Z hlediska spouštění je asynchronní motor s kroužkovou kotvou výhodnější než asynchronní motor s kotvou nakrátko, protože u něho můžeme vhodnou volbou rotorového odporu měnit záběrný proud a záběrný moment zvětšit až na moment zvratu.

2.2.2 Druhy spouštění motorů s kotvou nakrátko

- a) Přímé připojení k síti
- b) Statorový spouštěč
- c) Přepínač Y/D
- d) Spouštěcí transformátor
- e) Použití rozběhové spojky

2.2.3 Přímé připojení asynchronního motoru s kotvou nakrátko k síti

Je to nejjednodušší způsob, má své výhody i nevýhody. Motor v okamžiku připojení odebírá značný proud nakrátko (záběrný proud), což může způsobit pokles napětí sítě (se všemi důsledky pro ostatní spotřebiče) a také vypnutí ochran. Motor se připojuje buď spínačem, nebo stykačem.

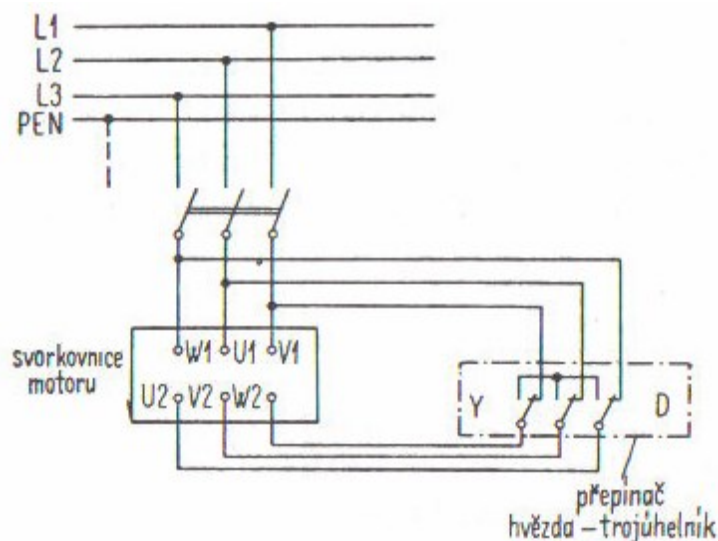


Obr. 8 Přímé připojení AM s kotvou nakrátko k síti [1]

Ve spotřebitelské síti se mohou přímo k síti připojovat motory, jejichž spouštěcí příkon je menší než 22kVA. Pro nejpoužívanější napětí 3x400V odpovídá uvedenému příkonu motoru

nejvýše 3kW. To se netýká velkých průmyslových závodů, které mají vlastní rozvodný systém.
[1]

2.2.4 Přepínač hvězda – trojúhelník



Obr. 9 Připojení AM s kotvou nakrátko k síti přepínačem hvězda – trojúhelník [1]

Tento způsob spouštění se nejčastěji používá u motorů výkonu 3-10 kW. Motor musí mít při normálním běhu vinutí spojeno do hvězdy. V tomto spojení by šel při záběru do jedné fáze vinutí proud

$$I_{f\Delta} = \frac{U}{Z} \quad (2.6)$$

kde Z je zdánlivá impedance jedné fáze motoru.

Ze sítě jde proud

$$I_{\Delta} = \sqrt{3} \cdot \frac{U}{Z} \quad (2.7)$$

Ve skutečnosti je vinutí statoru při rozběhu spojeno do hvězdy a velikost napětí v jedné fázi je

$$\frac{U}{\sqrt{3}}$$

Proud v této fázi má velikost

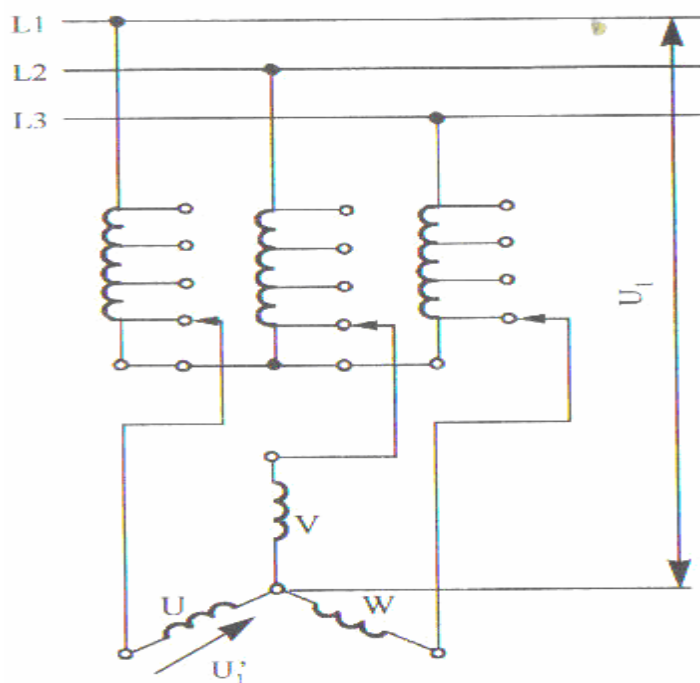
$$I_Y = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot Z} \quad (2.8)$$

Stejná velikost proudu jde také ze sítě, takže poměr síťových proudů při obou spojení je

$$\frac{I_Y}{I_\Delta} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot Z} \cdot \frac{Z}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{1}{3}$$

Záběrný proud je v tomto případě třikrát menší, stejně jako záběrný moment. Proto je možné tímto způsobem spouštět pouze motory, které se rozbíhají bez zatížení (okružní pily, ventilátory, menší obráběcí stroje apod.). [1]

2.2.5 Spouštění AM s kotvou nakrátko pomocí transformátoru



Obr. 10 Spouštění AM s kotvou nakrátko pomocí transformátoru [1]

Spouštění asynchronního motoru spouštěcím transformátorem je na obr. 10. Při spouštění se připojí vinutí motoru nejdříve na odbočku s nejnižším napětím a potom následuje postupné přepínání na odbočky s vyšším napětím. Záběrný proud se sníží se čtvercem napětí

$$\left(\frac{U_i}{U_1} \right)^2 \quad (2.9)$$

Záběrný moment se snižuje ve stejném poměru.

Vlastnosti:

- a) Při lineárním snížení napětí na motoru se sníží záběrný proud kvadraticky,
- b) Při snížení napětí na motoru se kvadraticky sníží záběrný moment,
- c) Ztráty při spouštění jsou z přibližně stejné jako při přímém připojení na síť,

d) Doba rozběhu je delší než při přímém připojení na síť

Vzhledem ke stoupajícím nákladům se spouštěcí transformátor uplatní pouze u spouštění velkých motorů nakrátko. [1]

2.2.6 Spouštění AM s kotvou nakrátko pomocí rozběhové spojky

V tomto případě se motor rozbíhá naprázdno (bez zatížení) a teprve při dosažení určitých otáček jej rozběhová spojka připojí k poháněnému stroji. Záběrný proud se však nezmenší, neboť je dán parametry stroje. Použitím spojky se jen zkrátí doba, po kterou je síť zatěžována záběrným proudem. V současné době se rozběhové spojky používají jen ojediněle. [1]

2.2.7 Další možnosti snížení záběrného proudu a zvýšení momentu

Zmenšení záběrného proudu a zvětšení záběrného momentu při spuštění asynchronního motoru umožňuje vhodná změna konstrukce a výběr vhodného materiálu s větším elektrickým odporem při výrobě klece rotoru.

- a) Odporová klec
- b) Dvojitá klec
- c) Vírová klec

2.2.7.1 Odporová klec

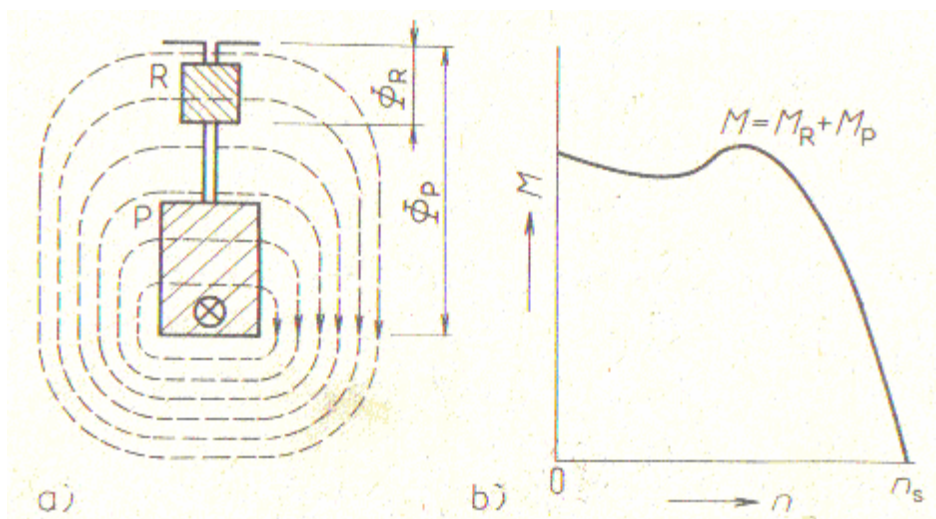
Odporová klec má tyče i kruhy zhotovené z materiálu o větším měrném odporu např. z mosazi, siluminu apod. Většímu odporu rotorového obvodu odpovídá větší záběrný moment, ale současně i větší skluz a horší účinnost motoru.

Odporová klec se používá u jeřábových a výtahových motorů, kde je velký záběrový moment zvláště důležitý, ale kde při přerušovaném chodu není zhoršená účinnost rozhodující. Vhodným odporem klece můžeme dosáhnout toho, že záběrný moment se může rovnat momentu maximálnímu.

Zvětšení odporu zmenšením samotného průřezu není vhodné, neboť menšímu průřezu odpovídá menší tepelná kapacita a tím i větší oteplením. [6]

2.2.7.2 Dvojitá klec

Dvojitá klec má dvě soustavy tyčí nestejného průřezu nad sebou nebo vedle sebe. Tyto tyče jsou spolu spojeny vodivými kruhy. Tato klec byla diktována snahou zhotovit motor, který by v sobě spojoval výhody jednoduché klece při normálním chodu s výhodami odporové klece při rozběhu.



Obr. 11 Dvojitá klec a) funkce, b) momentová charakteristika [6]

Touto klecí dosáhneme zvětšení záběrného momentu a zmenšení záběrného proudu. Na obr. 11a je vyznačena jedna tyč rozběhové klece R a pod ní, hluboko v železe rotoru, tyč pracovní klece P. Tyč pracovní klec je spřažena s plným rozptylovým magnetickým tokem Φ_P , avšak tyč rozběhové klece je spřažena jen s jeho malou částí Φ_R . Při rozběhu, kdy prochází tyčemi proud síťového kmitočtu, je reaktance spodní tyče mnohonásobně větší než reaktance horní tyče.

Rotorový záběrný proud se do obou tyčí rozdělí nepřímo úměrně impedancím. Jeho větší část prochází horní rozběhovou klecí, která má ale větší odpor (menší průřez, horší měrnou vodivost) a chová se jako odporová klec. Motor se rozbíhá s větším momentem a menším proudem.

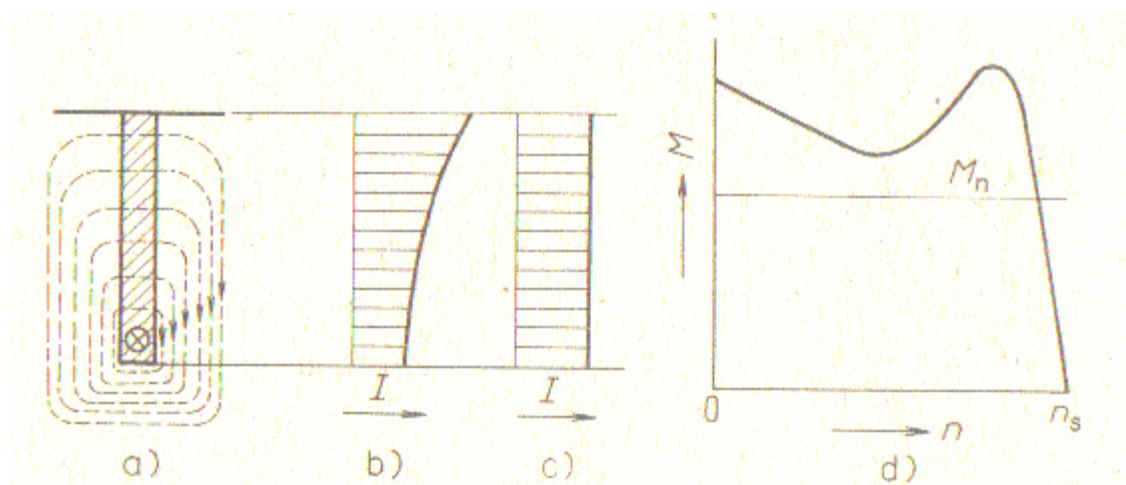
Za chodu je skluzový kmitočet malý, reaktance tyčí je nepatrná a proud se rozdělí paralelně do obou tyčí nepřímo úměrně jejich odporům. Motor se chová jako normální motor s

jednoduchou klecí. Momentová charakteristika se získá sečtením charakteristiky pracovní (M_p) a rozběhové klece (M_R) podle obr. 11b.

Vhodnou úpravou obou klecí můžeme momentovou charakteristiku motoru v širokých mezích ovlivnit a přizpůsobit potřebám stroje. Vzduchová mezera mezi oběma tyčemi musí být proto, aby se celý magnetický tok neuzavíral jen kolem tyčí horní klece.

Vlastnosti motoru s dvojitou klecí jsou za chodu trochu horší než vlastnosti motoru s jednoduchou klecí. [6]

2.2.7.3 Vírová klec

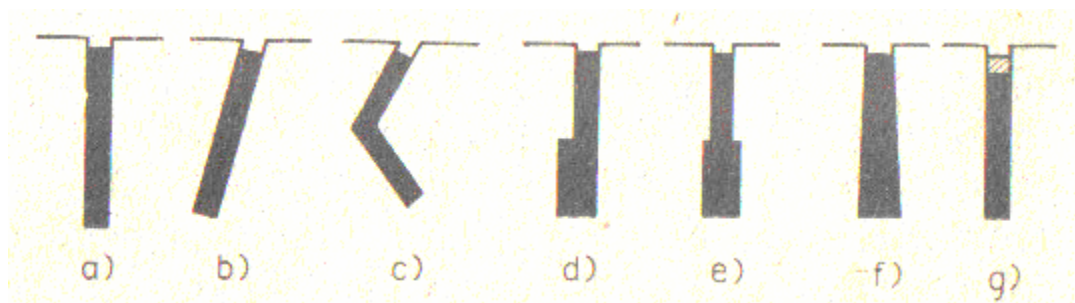


Obr. 12 Vírová klec a) rozložení indukčních čar v kleci, b) rozložení proudu při rozběhu, c) rozložení proudu za chodu, d) momentová charakteristika vírové klece [6]

Vírová klec má tyče uloženy v úzkých a hlubokých drážkách. Výrobou klecí lze dosáhnout zvětšení záběrného momentu a zmenšení záběrného proudu na podobném principu jako u klece dvojitě obr. 12. Spodní vlákna vysoké tyče jsou spřažena s větším rozptylovým magnetickým tokem než horní vlákna tyče, takže při rozběhu mají větší reaktanci a proud se z nich vytlačuje do horních vrstev (obr. 12 a). Proud tedy prochází větším průřezem a klec se chová jako odporová. Za chodu se proud rozdělí rovnoměrně po celém průřezu (obr. 12 c).

Vírovou klecí nelze dosáhnout takové kombinace momentových charakteristik a takového zvětšení záběrného momentu, jako dvojitou klecí. Naproti tomu je však výrobně jednodušší, a proto oblíbená. Obvyklý průběh momentu je na obr. 12 d.

Motory s vírovou klecí se používají zejména pro větší výkony, vysoká napětí a poměrně velké záběrné momenty. Tyče mohou mít různé tvary.



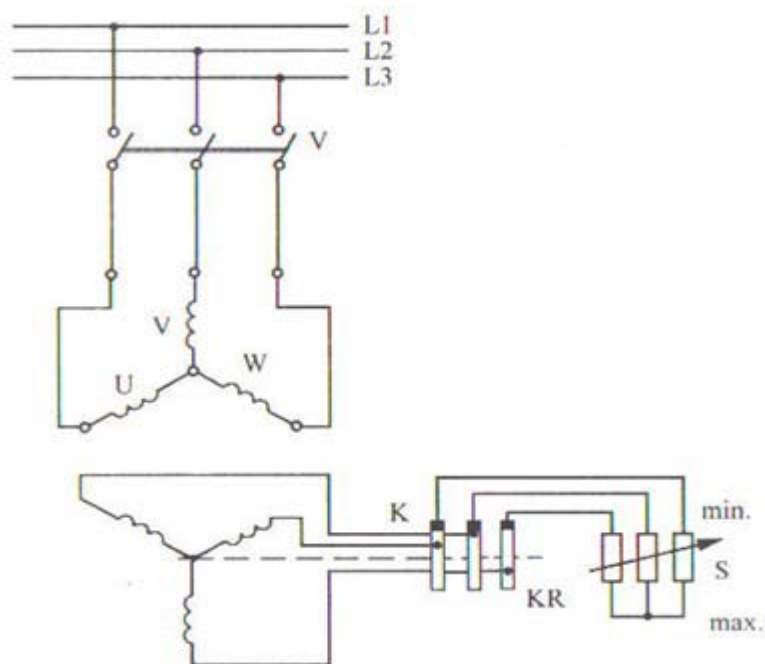
Obr. 13 Tvary tyčí vírové klece [6]

Zúžení profilu horní části má zvětšit činný odpor za rozběhu. Stejného účinku lze dosáhnout ještě výhodnější kombinací tyčí s nesterýmým měrným odporem (obr. 13 g). Tyče mohou mít i různé mechanické vlastnosti. Klínový tvar podle obr. 13 f se zvláště hodí pro rychloběžné motory, neboť se odstředivou silou neuvolňuje. [6]

2.3 Spouštění asynchronního motoru s kroužkovou kotvou

Nejdůležitější vlastností trojfázového asynchronního motoru s kroužkovou kotvou je jeho chování při spouštění. Záběrný proud lze pomocí spouštěcího zařízení připojeného ke kroužkům libovolně snížit, záběrný moment je při spouštění velký.

Při zvětšení odporu rotoru poklesne satorový proud a stoupne záběrný proud motoru. Zároveň platí, že moment zvratu nezávisí na velikosti odporu rotorové fáze. Protože rotor kroužkového stroje je vinutý, umožňuje snadné zvýšení rotorového proudu přes kroužky. [6]



Obr. 14 AM s kroužkovou kotvou pomocí rotorového spouštěče [6]

Spouštění se provádí pomocí spouštěče připojeného ke kroužkům podle obr. 14. Rotorový spouštěč je odstupňovaný trojfázový odpor, jehož postupným vyřazováním se asynchronní motor rozbíhá. Odporů rotorového spouštěče jsou dimenzovány na rozběh motoru. Pro každý motor je třeba volit v závislosti na zatížení a odporu rotoru jiný spouštěč.

Spouštěče pro větší motory mívají odklápěč kartáčů, kterým se po dokončení rozběhu spojuje vinutí rotoru nakrátko. Zároveň se odklápějí kartáče, aby nedocházelo k jejich opotřebování. Toto opatření má další výhody v tom, že se omezí přechodový odpor mezi kroužky a kartáči a současně se vyloučí vliv přívodních vodičů ke spouštěči.

Postup spouštění:

- Zařadíme maximální hodnotu odporu spouštěče S (nulová poloha spouštěče)
- Zkontrolujeme, zda kartáče K dosedají na KR,
- Zapneme hlavní vypínač V,
- Postupně vyřezujeme odpor spouštěče až na minimální hodnotu, kdy dojde ke spojení rotorového vinutí přes kroužky a kartáče nakrátko,

- e) Pokud je stroj vybaven odklápečem kartáčů, spojíme pomocí něho kroužky nakrátko a odklopíme kartáče.

Vyřazování odporu spouštěče je třeba provádět plynule bez rázů při přepínání v závislosti na zatížení motoru. Pokud není rozběh automatizován, je vhodné ho provádět pomocí ampérmetru ve statorovém vinutí. Dále stačí přepínat jednotlivé stupně tak, aby nedocházelo k nadměrnému kolísání proudu motoru. V dnešní době je již rozběh asynchronních motorů plně automatizován pomocí řídicích systému zařízení. [6]

2.4 Spouštění asynchronních motorů na Dole Bílina

K zajištění provozu Dolu Bílina je využíváno řádově tisíce elektrických strojů. Převážnou většinu tvoří asynchronní motory. Nepatrné procento elektrických strojů na Dole Bílina pak tvoří stejnosměrné motory. Asynchronní motory jsou použity k zajištění pohybu všech velkostrojů, dálkových pasových dopravníků, čerpacích stanic, jeřábů, obráběcích strojů (dílny SD), atd. Stejnosměrné motory zde slouží k pohonu otoče některých velkostrojů.

Asynchronní motory, používané na Dole Bílina, jsou od malých výkonů (řádově kW) až po výkon 1 MW. Asynchronní motory tak velkého výkonu slouží k pohonu dálkových pasových dopravníků.

Spouštění asynchronních motorů menších výkonů se provádí přímým připojením k síti pomocí stykačů. Motory větších výkonů jsou spouštěny rotorovými spouštěči ve čtyřech stupních pomocí stykačů s pevně nastavenými časy sepnutí. Na pojezdech kabelových vozů je vykrácení odporníků prováděno ručně. Motory velkých výkonů na dopravních linkách velkostrojů jsou spouštěny pomocí 12 - stupňových rotorových spouštěčů. Tyto spouštěče jsou ovládány plně automaticky řídicím systémem velkostroje.

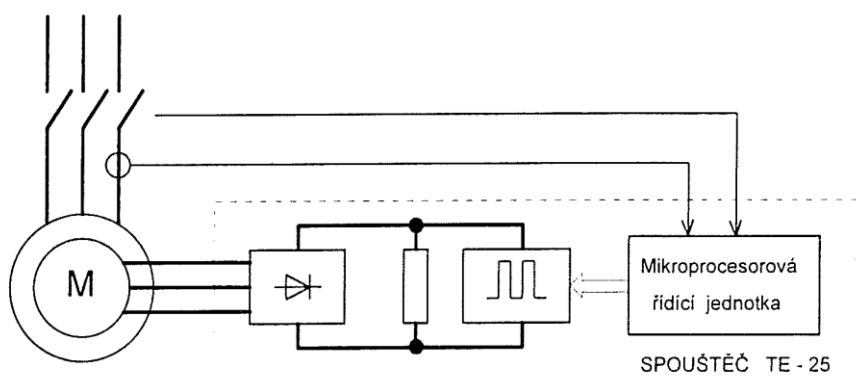
2.4.1 Spouštění asynchronních motorů o výkonu 1 MW na Dole Bílina

K pohonu některých poháněcích stanic DPD na Dole Bílina jsou použity asynchronní motory s kroužkovou kotvou o výkonu 1 MW. Jedná se o stanice DPD o velké délce pasového dopravníku (až 1 km) nebo stanice s větším převýšením. Tyto stanice jsou osazeny čtyřmi motory, k jejichž spuštění se používá spouštěčů TE – 25.

2.4.2 Polovodičové rotorové spouštěče TE – 25

Polovodičové rotorové spouštěče TE – 25 jsou určeny ke spouštění motorů s kroužkovou kotvou o výkonu 50 kW až 2,5 MW. Oproti klasickým olejovým nebo vzduchovým rotorovým spouštěčům se stykačovým vyřazováním rotorových stupňů využívají moderní výkonové polovodičové prvky (od firmy Siemens) a robustní jednofázový odporník chlazený vzduchem. [11]

Blokové schéma spouštěče TE – 25



Obr. 15 Blokové schéma spouštěče TE – 25 [11]

Výhody: [11]

- Plynulý rozběh asynchronního motoru
- Dodržení vysokých záběrných momentů
- Optimální rozběhové charakteristiky motorů řízené mikroprocesorem
- Vysoká četnost startů v důsledku použití vzduchem chlazených odporníků
- Možnost použít spouštěče k trvalé regulaci otáček elektromotoru
- Nízké náklady na údržbu
- Vysoká spolehlivost spouštěče
- Jednoduchá náhrada za rotorové spouštěče starších provedení

3. Frekvenční měniče pro pohony shazovacích vozů

3.1 Základní popis frekvenčních měničů

Z rovnice č. 3.1 vyplývá, že otáčky motoru se dají měnit změnou skluzu, počtu pólů nebo změnou rychlosti otáčení statorového magnetického pole. Řízení změnou skluzu většinou vede k neúsporné regulaci otáček, řízení změnou rychlosti statorového magnetického pole vede k použití frekvenčního měniče.

$$n = n_s \cdot (1 - s) = \frac{60 \cdot f}{p} \cdot (1 - s) \text{ [min}^{-1}\text{]} \quad (3.1)$$

Frekvenční měnič je elektronické zařízení, které mění jeden ze základních parametrů elektrického napětí či proudu (dále již jen napěťové frekvenční měniče), frekvenci. Ke změně kmitočtu dochází buď přímo (přímé měniče - cyklokonvertory) nebo nepřímo (nepřímé měniče). Kromě změny frekvence může měnit i amplitudu. Způsoby řízení frekvenčního měniče můžeme rozdělit na skalární a vektorové řízení.

Frekvenční měniče se s výhodou používají pro řízení asynchronních strojů s kotvou na krátko, protože umožňují efektivní změnu otáček ve velkém rozsahu při různém zatížení, plynulý rozběh a brzdění stroje. Mimo jiné je lze použít i jako náhradu mechanických převodovek.

Velké rozšíření frekvenčních měničů umožnil vývoj polovodičové elektroniky a její cenová dostupnost. Nejdůležitějším parametrem, který ovlivňuje cenu je požadovaný výkon frekvenčního měniče. [12]

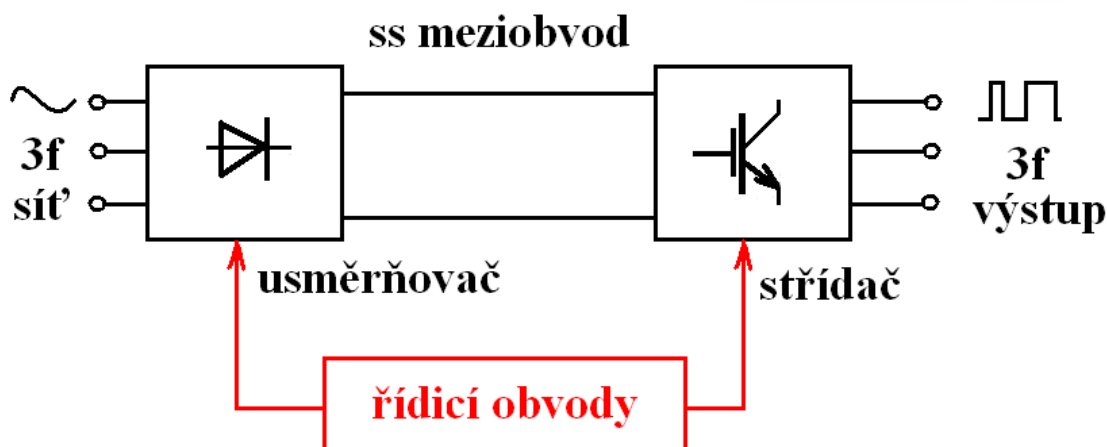
3.1.1 Hlavní části frekvenčního měniče

Základní části trojfázového měniče jsou

- **Usměrňovač** – slouží k usměrnění vstupního napětí a může být řízený nebo neřízený
- **Filtr a stejnosměrný meziobvod** – odděluje síť od výstupu měniče a slouží k vyhlazení usměrněného napětí. Poskytuje stejnosměrné napětí střídači.
- **Střídač** – slouží k modulaci stejnosměrného napětí a vytváří tím výstupní střídavé napětí

- **Řídicí elektronika** – řídí střídač a určuje frekvenci výstupního střídavého napětí. Konstrukce řídicí elektroniky je závislá na typu frekvenčního měniče (pulsně – šířkově modulovaný měnič, pulsně – amplitudově modulovaný měnič, proudově řízený měnič).

3.1.2 Blokové schéma frekvenčního měniče



Obr. 16 Blokové schéma frekvenčního měniče [13]

3.1.3 Řízení frekvenčních měničů

Řízení frekvenčních měničů lze rozdělit na dva základní typy, skalární a vektorové řízení. Oba způsoby se snaží zachovat moment a rychlost při použití zpětné vazby a regulátoru, který ovlivňuje modulaci. Použití skalárního či vektorového řízení je závislé na typu aplikace, ve které je motor použit. Skalární řízení je podstatně jednodušší než vektorové, ale je vhodné pouze do omezeného množství aplikací, protože nedosahuje tak vysoké přesnosti řízení otáček.

1. Skalární řízení

Skalární řízení frekvenčních měničů vychází z rovnic pro ustálený stav asynchronního stroje. Model motoru nezahrnuje elektromagnetické jevy uvnitř stroje a z tohoto důvodu neumožňuje řízení okamžité hodnoty momentu, což má za následek horší dynamiku regulace rychlosti. Skalární řízení bylo pro svou jednoduchost využíváno v pohonech starší generace a dále je využíváno v levných pohonech s nízkými nároky na dynamiku pohonu, například v pohonech čerpadel nebo ventilátorů.

Rychlost rotoru asynchronního stroje je přímo úměrná frekvenci napájecího napětí. Změnou frekvence napájecího napětí docílíme změnu otáček, pokud však chceme zachovat konstantní moment zvratu, musíme zachovat konstantní poměr. Motor lze řídit tímto způsobem ve velkém rozmezí frekvencí (do jmenovité hodnoty), u vyšších frekvencí však dochází k problému udržení konstantního poměru z důvodu velikosti napětí, čímž dochází k poklesu momentu.

$$\frac{U}{f} = konst \quad (3.2)$$

Zvýšení přesnosti řízení otáček pomocí skalárního řízení lze dosáhnout přidáním PID regulátoru. Regulátor je možné implementovat do řídicí části frekvenčního měniče. V některých aplikacích lze dosáhnout srovnatelných výsledků s vektorovým řízením, při jednodušším způsobu realizace.

2. Vektorové řízení

Vektorové řízení asynchronních motorů vychází z modelu popisujícího elektromagnetické a elektromechanické jevy ve stroji. Pomocí tohoto modelu lze efektivně řídit okamžité hodnoty toků a proudů ve stroji a rovněž okamžitou hodnotu momentu stroje. Na asynchronní pohon s vektorovým řízením pak lze pohlížet jako na stejnosměrný pohon s cizím buzením, kde lze řídit nezávisle tok motorem a jeho moment.

Vektorové řízení nenastavuje pouze amplitudu statorového napětí (velikost magnetického toku a proudu), ale nastavuje i úhel mezi magnetickým tokem a proudem, neboť velikost momentu závisí nejen na velikosti těchto veličin, ale i na fázovém posunu mezi nimi. Největšího momentu lze dosáhnout, jestliže je proud posunut o 90° vůči magnetickému toku. [13]

3.2 Frekvenční měniče pro pohony SVH 1800

K řízení pohonů shazovacího vozu SVH 1800 je využito frekvenčních měničů SINAMICS S 120 a SINAMICS G 120 od firmy Siemens.

3.2.1 Frekvenční měnič SINAMICS S 120

SINAMICS S 120 je frekvenční měnič pro dynamicky náročné aplikace v oblasti přesného řízení rychlosti a momentu pohonu. Měnič je oblíben zejména pro svůj výkonový rozsah od 0,12 kW do 4,5 MW. [14]

Hlavní výhody FM SINAMICS S 120:

- Široké výkonové spektrum
- Flexibilita daná modulární výstavbou
- Univerzální použití v dynamicky náročných jednoosých i víceosých aplikacích
- Jednoduché polohování přímo v měniči



Obr. 17 Frekvenční měnič SINAMICS S 120 [14]

Tento frekvenční měnič je na shazovacím voze použit pro řízení hlavních pohonů vynášecího pásku, pohonu zdvihu vynášecího pásku, pohonu zdvihu náběžníkové části shazovacího vozu a pohonů pojezdu housenicových podvozků.

3.2.2 Frekvenční měnič SINAMICS G 120

Frekvenční měniče SINAMICS G 120 se vyznačují svým modulárním designem. Užívají se pro řízení pohonů náročných na přesnost regulace rychlosti v nejrůznějších průmyslových aplikacích. Výkonová část je chlazena odděleně od elektroniky, což výrazně zvyšuje odolnost měniče. Další významnou vlastností je možnost rekuperace energie zpět do elektrické sítě. Frekvenční měnič je vyráběn ve výkonovém rozsahu 0,37 kW – 130 kW. [14]

Na shazovacím voze SVH 1800 je tento frekvenční měnič použit pro řízení pohonu otoče vynášecího pásku. Použitý měnič má výkon 7,5 kW.



Obr. 18 Frekvenční měnič SIMATICS G 120 [14]

4. Měření napěťových poměrů při rozjezdu pohonů v původním zapojení a rekonstruovaných pohonů s frekvenčními měniči

V této části diplomové práce se budu zabývat šetřením napěťových poměrů při rozjezdu pohonů v původním zapojení, kdy je ke spuštění motorů použit rotorový spouštěč a rozjezdu pohonů řízených frekvenčním měničem na shazovacím voze.

Pro měření jsem si zvolil pohon pojezdu housenicových podvozků. Měření jsem provedl na shazovacím voze SVH 2250, kde je ke spuštění pohonu pojezdu použit čtyřstupňový rotorový spouštěč a na rekonstruovaném shazovacím voze SVH 1800, kde jsou pohony pojezdu řízeny frekvenčními měniči SIMATICS S 120 od firmy Siemens. Výkon motorů na housenicových podvozcích je na obou shazovacích vozech stejný 55 kW. Vliv rozjezdu však nebudu měřit na stálém napájení shazovacích vozů, ale na napětí z dieselagregátu, který je zde použit jako zdroj náhradního napájení pro pojezd shazovacího vozu při přestavbách.

4.1 Náhradní zdroj napájení pro SVH – dieselaagregát GEP 550 – 2



Obr. 19 Dieselaagregát GEP 550 – 2



Obr. 20 Motor a agregát GEP 550 – 2

4.1.1 Popis dieselagregátu GEP 550 – 2

Dieselagregát slouží jako zdroj 500 V, 50 Hz. Je zdrojem konstantního výkonu s rychlou regulací napětí během 3 vteřin. Dieselagregát je vybaven baterií 24 V DC s vlastním nabíječem, která slouží k nastartování motoru. Nabíjecí zařízení baterie je dodáváno jako pomocné zařízení k dieselagregátu. Vyžaduje přívod 230 V, 16 A. Spínání a řízení nabíjecího procesu si provádí automat dieselu autonomně. Automat dieselu provádí monitoring stavu baterie a zprávu o stavu baterie vydává na displej ovládacího panelu. Dalším pomocným zařízením dieselagregátu je temperování (předehřev). Spínání a řízení topných těles si také automat dieselagregátu provádí autonomně podle teploty okolí.

Agregát je opatřen asynchronním generátorem s vlastní kompenzací. Soustava 3×500 V je opatřena hlídáním izolačního stavu připojené sítě v rozvodně shazovacího vozu. Generátor i připojená síť jsou jištěny na sekundární straně generátoru výkonovým jističem. Spínání jističe je ruční.

Agregát je spouštěn a zastavován ručně tlačítky z ovládacího a manipulačního panelu dieselagregátu. Na ovládacím panelu je umístěna i signalizace provozních a poruchových stavů dieselagregátu.

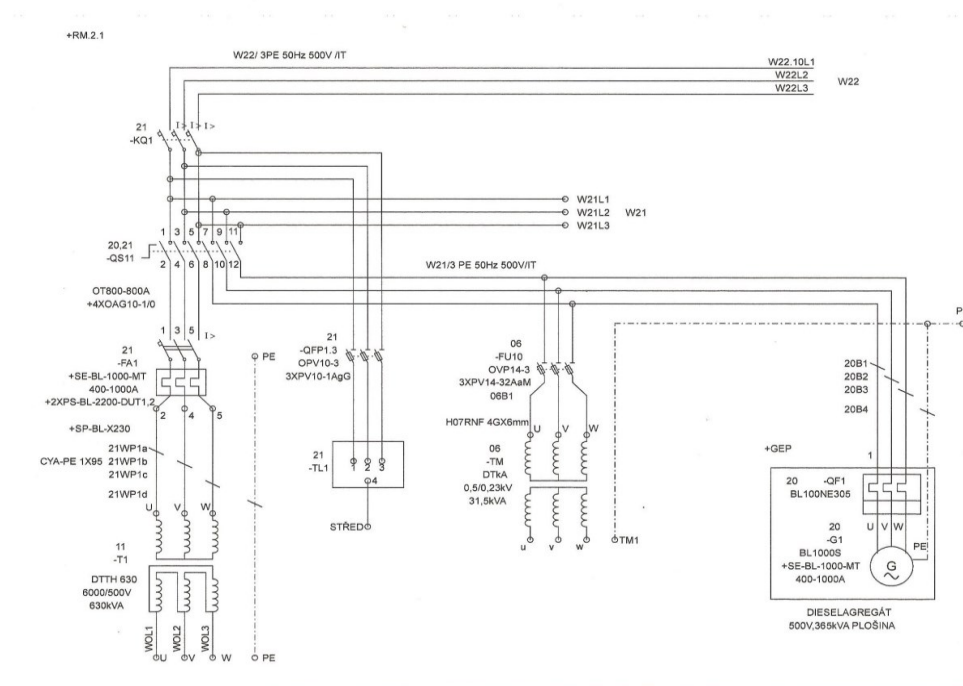
Přepnutí ze stálého napájení na náhradní napájení z dieselagregátu se provádí ručně pomocí dvou výkonových přepínačů.

Při poklesu výstupního napětí se pomocí regulátoru otáček zvýší průtok paliva v palivovém systému motoru, tím se zvýší otáčky a výstupní napětí se vrátí na původní úroveň.

Tento typ dieselagregátu je použit na shazovacím voze SVH 2250. Na shazovacím voze SVH 1800 je nasazen stejný typ dieselagregátu, liší se pouze velikostí výstupního napětí 400 V.

Přepnutí ze stálého napájení na náhradní napájení z dieselagregátu se na shazovacím voze SVH 1800 provádí pouze jedním sdruženým výkonovým přepínačem. [2]

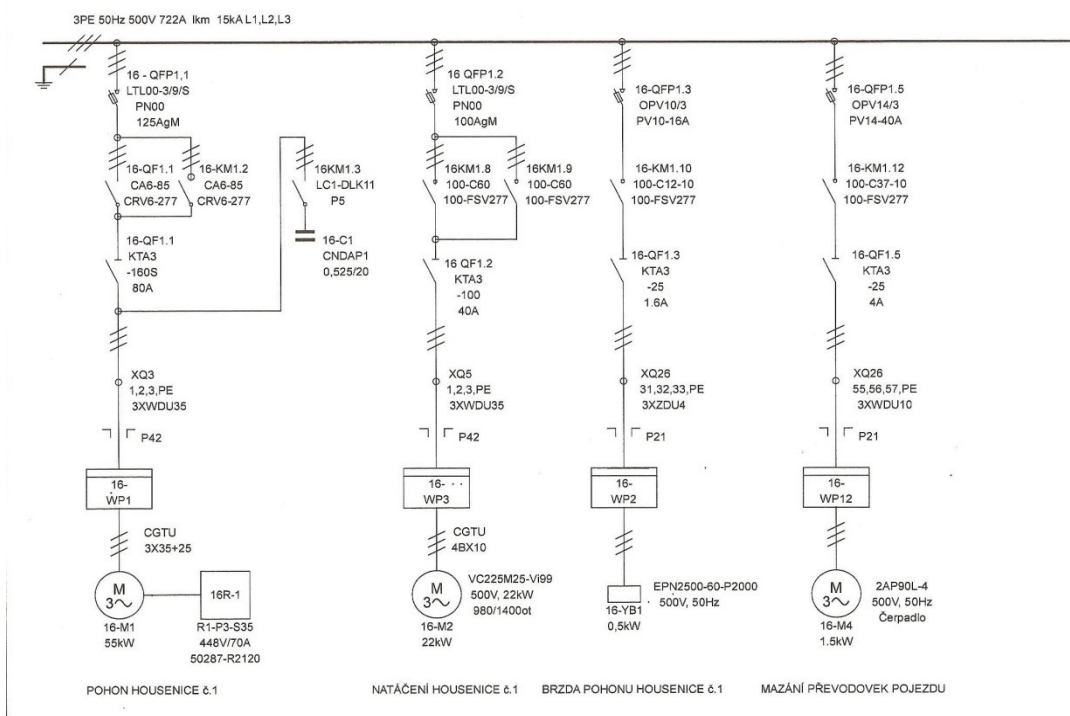
4.1.2 Schéma zapojení dieselaagregátu na SVH



Obr. 21 Zjednodušené silové schéma pripojení 500 V z dieselagregátu na stávající rozvod
shazovacího vozu [2]

Na zjednodušeném silovém schéma (obr. 21) je vidět způsob připojení dieselaagregátu na stávající síť shazovacího vozu. Pro zajištění ovládacího napětí je v rozvodně přidán transformátor (v plánu označen 06 TM) 500 / 3 × 230 V o výkonu 31,5 kVA. K zajištění oddělení přívodního napětí 500 V ze silového transformátoru shazovacího vozu a přívodního napětí 500 V z dieselaagregátu, byl v přívodním poli rozvaděče 500 V nainstalován přepínač typu OT800 – 800 A od firmy ABB s ručním přepínáním obou přívodů (v plánu označen QS 11). [12]

4.1.3 Schéma zapojení pohonu podvozku SVH 2250

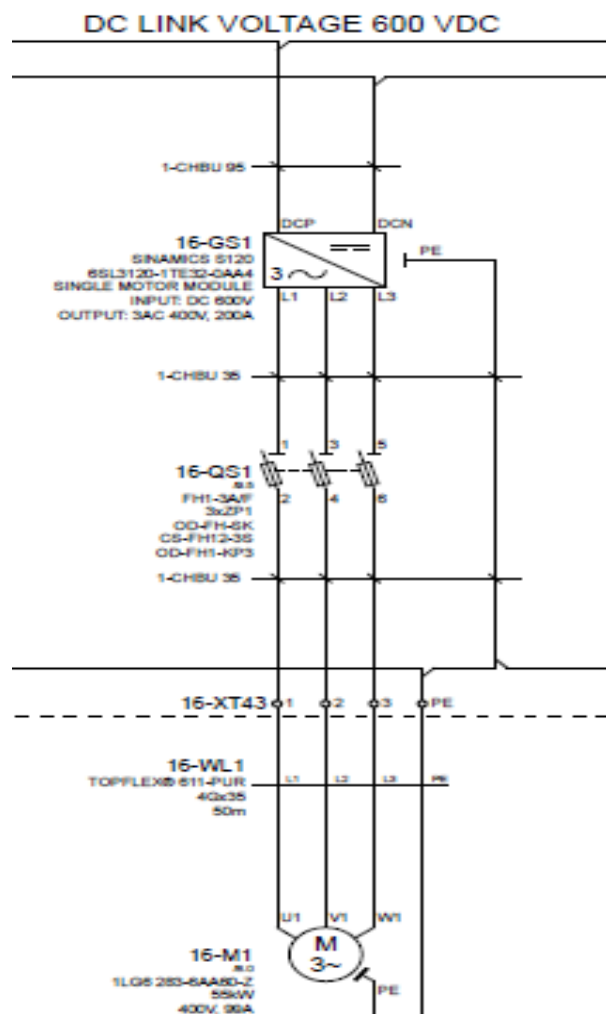


Obr. 22 Silové zapojení jednoho podvozku SVH 2250 [5]

Na shazovacím voze SVH 2250 jsou motory pohonů podvozků spuštěny stykačem (ve schématu označen 16-KM1) a rozběh je řízen rotorovým spouštěčem (v plánu označen 16R-1) ve čtyřech stupních s pevně nastaveným časem. Rotorové stupně jsou vyřazovány pomocí stykačů a čas je nastaven v řídicím systému shazovacího vozu.

Elektrohydraulická brzda je spouštěna současně s motorem pojezdu přímo pomocí stykače (v plánu označen 16 KM1-10). [5]

4.1.4 Schéma zapojení pohonu podvozku SVH 1800



Obr. 23 Schéma zapojení pojzdového motoru na SVH 1800 [7]

Na shazovacím voze SVH 1800 jsou motory pohonů podvozků řízeny frekvenčním měničem SINAMICS S 120. Na obr. 23 je znázorněno připojení jednoho pojzdového motoru SVH 1800. Pro viditelné rozpojení je na vývodu k motoru umístěn pojistkový odpínač (v plánu připojení označen 16- QS1). Připojení motoru je řešeno stíněným kabelem TOPFLEX 611-PUR. [7]

4.2 Měření vlivu rozjezdu pohonů pojezdu na shazovacích vozech na napětí náhradního zdroje

Měření na shazovacím voze SVH 2250 jsem provedl 11. 5. 2012. Měření na shazovacím voze SVH 1800 jsem provedl 4. 3. 2014. Po nastartování dieselaagregátu jsem nechal dieselaagregát zahřát na provozní teplotu, pak jsem pomocí výkonových přepínačů přepnul napájení shazovacího vozu na náhradní zdroj a provedl měření. Oba shazovací vozy měly v době měření přibližně stejně upravené podloží pro pojezd s nulovým sklonem.

4.2.1 Měřicí přístroj

Měření jsem prováděl pomocí analyzátoru sítě Qualistar 8334, v. č. 195694AHH. Při měření jsem použil převodníky Ampflex (3000 A), MN93A (100 A), vzorkování 12,5 kHz. Měřicí přístroj zaznamenal a uložil do své vnitřní paměti každou vteřinu hodnoty zvolených měřených veličin.

Jedná se o měřicí přístroj, který představuje procesorem řízený tester s možností záznamu hodnot do vnitřní paměti a jejich přenos opticky izolovaným rozhraním do počítače. [15]



Obr. 24 Analyzátor sítě Qualistar 8334 [15]

Přístroj měří a zobrazuje v reálném čase hodnoty napětí, proudů, výkonů (činný, jalový, zdánlivý), energie, harmonické složky, zobrazuje vektorový diagram, apod. Měření lze provádět v jednofázových i třífázových soustavách.

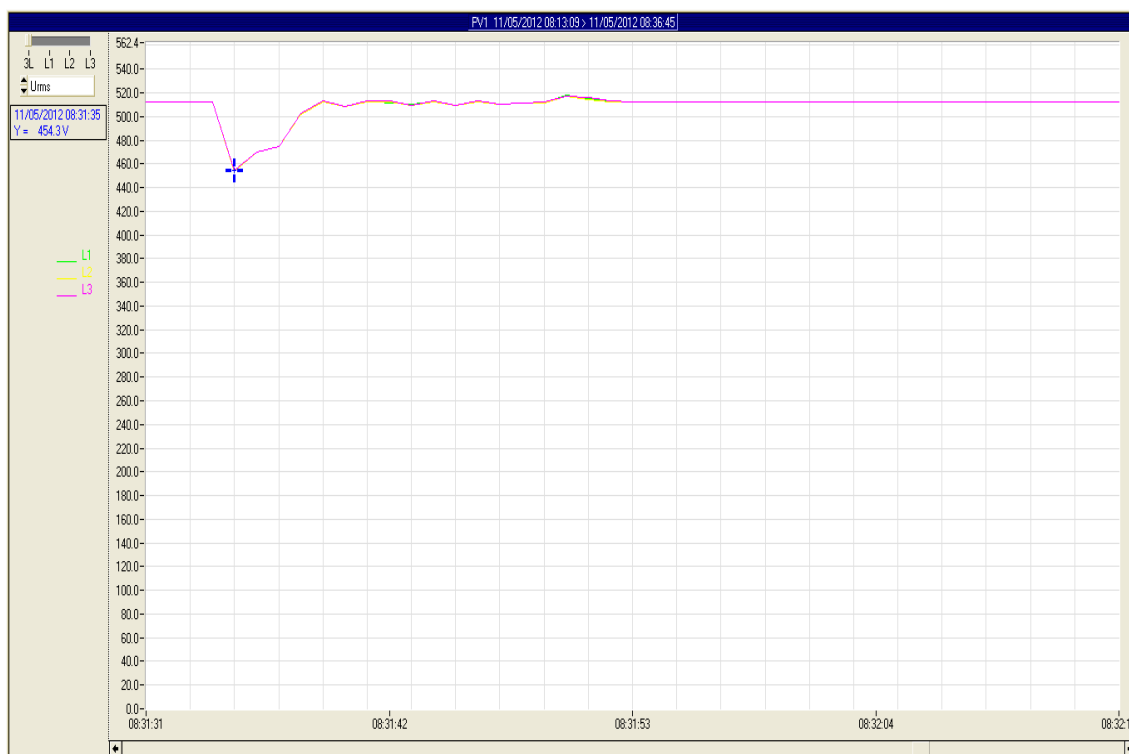
Barevný LC displej umožňuje nastavit barevné odlišení jednotlivých fází, přehledně zobrazuje vybrané parametry měření.

Naměřené hodnoty jsou následně pomocí počítače a programu Qualistar 2. 6 zpracovány do výsledných grafů. [15]

4.3 Naměřené hodnoty na SVH 2250

4.3.1 Průběh napětí při zapnutí pojezdu shazovacího vozu

Na grafu 1 můžeme vidět průběh napájecího napětí 500 V, které dodává do rozvodu shazovacího vozu dieselagregát.

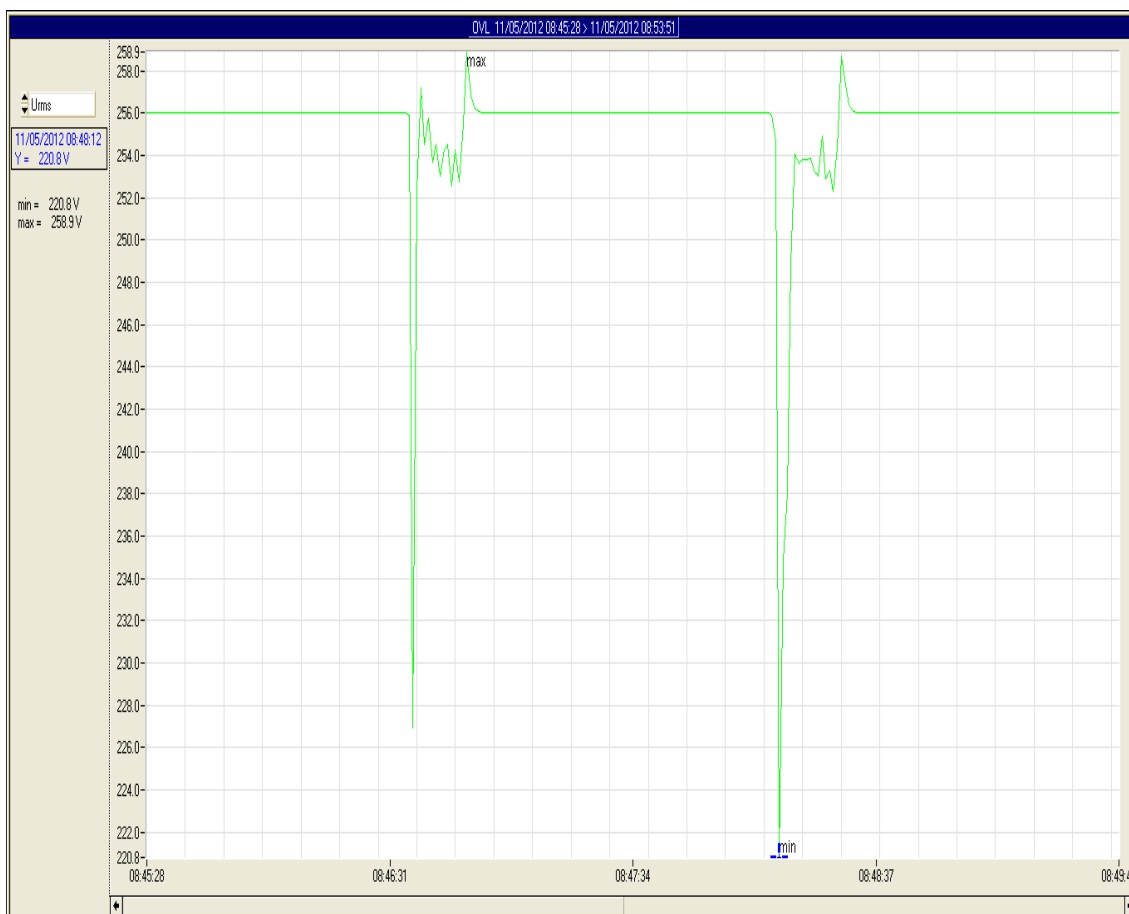


Graf 1 Průběh napětí 500 V při zapnutí pojezdů SVH 2250

Z průběhu napětí je patrné, že dieselaagregát při chodu bez zatížení dodával stálé napětí o velikosti 512,5 V. V momentě zapnutí pojezdu shazovacího vozu (v čase 8:31:35) došlo k poklesu napájecího napětí z dieselaagregátu na hodnotu 454,3 V, což je pokles o 11,34 %.

Z grafu dále vyplývá, že dieselaagregát pomocí regulace otáček pokles napětí vyrovnal na původní hodnotu po 3 sekundách, což garantuje i výrobce dieselaagregátu firma Caterpillar v průvodních materiálech. Napětí se potom kolísá mezi hodnotou 510 V a 520 V. Vypnutí pojezdu shazovacího vozu došlo v čase 8:31:52.

Napájecí napětí 500 V slouží zároveň jako primární napětí ovládacího transformátoru pro shazovací vůz 0,5/0,230 kV (obr. 20). Zde je patrné, že pokles napětí 500 V z důvodu spuštění pohonů pojezdu shazovacího vozu způsobí i pokles ovládacího napětí (graf 2).



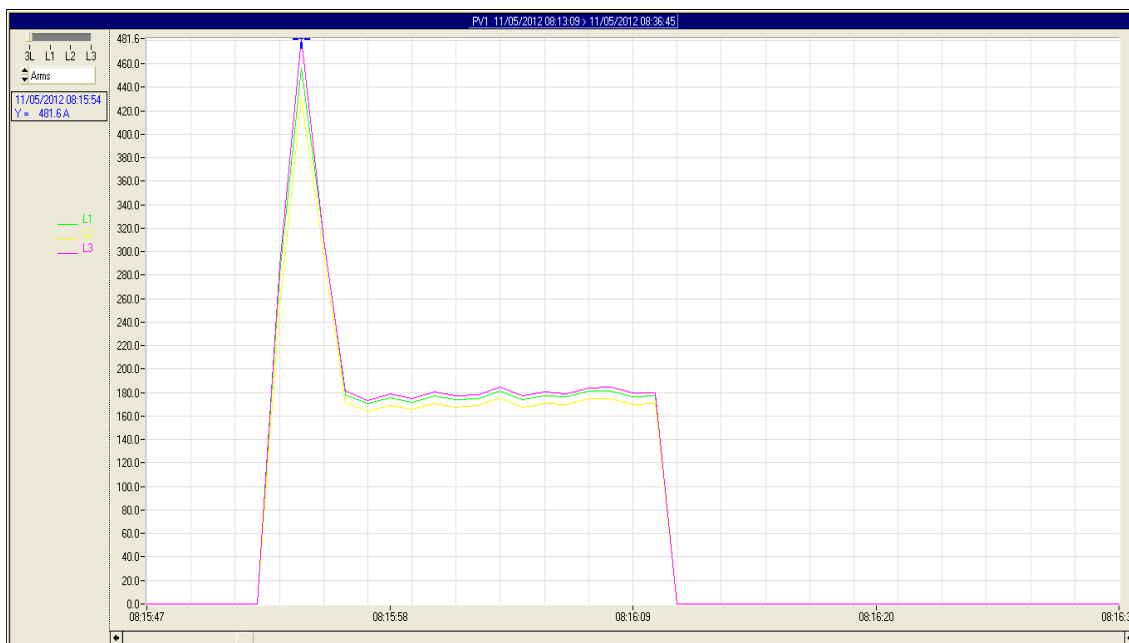
Graf 2 Průběh ovládacího napětí 230 V při zapnutí pojezdů SVH 2250

Velikost ovládacího napětí shazovacího vozu za klidu je 256 V. Měření poklesu ovládacího napětí jsem provedl pro jízdu shazovacího vozu vpřed i vzad. Při zapnutí pohonů pojezdu shazovacího vozu vpřed (v čase 8:46:38) došlo k poklesu ovládacího napětí na hodnotu 227 V, při pojezdu shazovacího vozu vzad (v čase 8:48:12) došlo k poklesu ovládacího napětí na hodnotu 220,8 V. To znamená pokles o 13,75 %.

Po nasazení dieselagregátu jako zdroje náhradního napájení docházelo ve zkušebním provozu k občasným výpadkům vypínače 500 V v rozvodně shazovacího vozu. Podpěťová cívka vypínače byla dimenzována na hodnotu 220 V a při poklesu ovládacího napětí k této hodnotě docházelo k jejímu vybavení a k vypnutí vypínače 500 V. Podpěťová cívka byla vyměněna za cívku, která je dimenzována na hodnotu 180 V. Z průběhu grafu je patrné, že k poklesu ovládacího napětí k hodnotě 220 V docházelo.

Časy měření napájecího napětí 500 V a ovládacího napětí 230 V se liší proto, neboť jsem měl k dispozici pouze jeden měřicí přístroj a každé měření bylo prováděno na jiných svorkách v rozvodně shazovacího vozu. Časová prodleva mezi měřením obou napětí je proto dána přípravou a zapojením měřícího přístroje na svorky ovládacího napětí. Optimální by bylo měření za použití dvou měřících přístrojů ve stejném čase.

4.3.2 Průběh proudu při zapnutí pojezdu shazovacího vozu



Graf 3 Průběh proudu při zapnutí pohonů pojezdů shazovacího vozu SVH 2250

Z vynesného průběhu proudu vyplývá, že k zapnutí pojezdových motorů shazovacího vozu došlo v čase 8:15:52. V tento čas proud vzrostl na hodnotu 481,6 A. Po 4 sekundách (to je čas vykrácení rotorových spouštěčů) se proud snížil a kolísal kolem hodnoty 170 A. Pojezd shazovacího vozu byl ukončen v čase 8:16:11.

Musím zdůraznit, že naměřené hodnoty proudu jsou sumární hodnoty ze čtyř motorů pojezdu, protože shazovací vůz má čtyři housenicové podvozky.

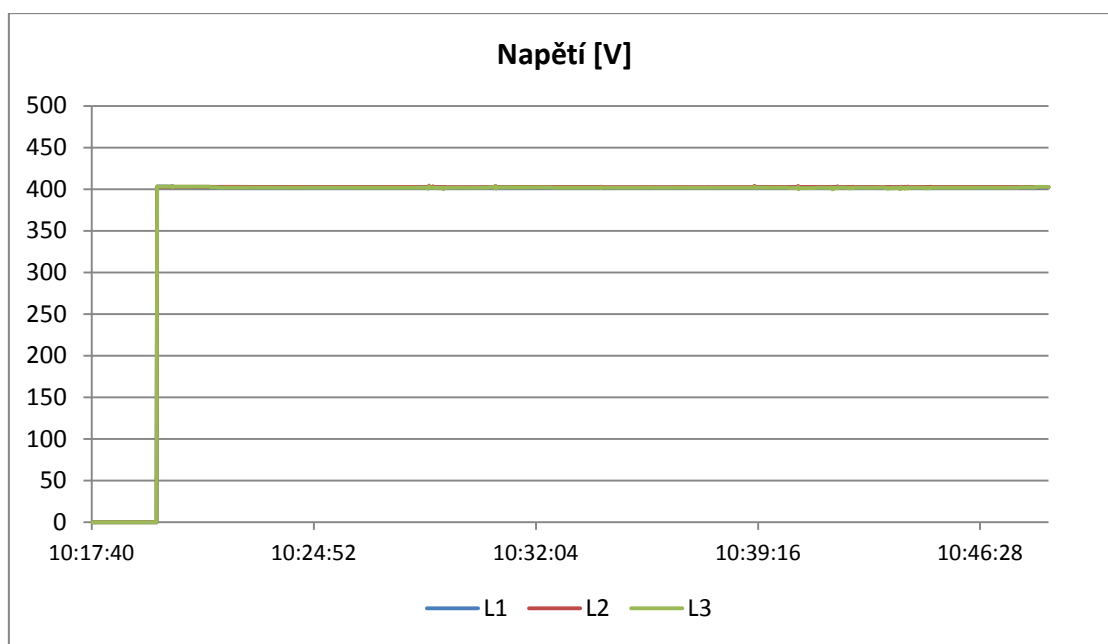
Na shazovacím voze SVH 2250 jsem naměřené hodnoty v době tvorby diplomové práce již neměl k dispozici. Proto jsem k vykreslení grafů použil záznam měření z měřicího přístroje Qualistar.

4.4 Naměřené hodnoty na SVH 1800

4.4.1 Průběh napětí při zapnutí pojezdu shazovacího proudu

Při tomto měření jsem využil funkce měřicího přístroje a přeexportoval jsem všechna naměřená data do programu Microsoft Excel. Průběhy jsem zpracoval pomocí tohoto programu a naměřená data jsou součástí přílohy 1 na datovém disku.

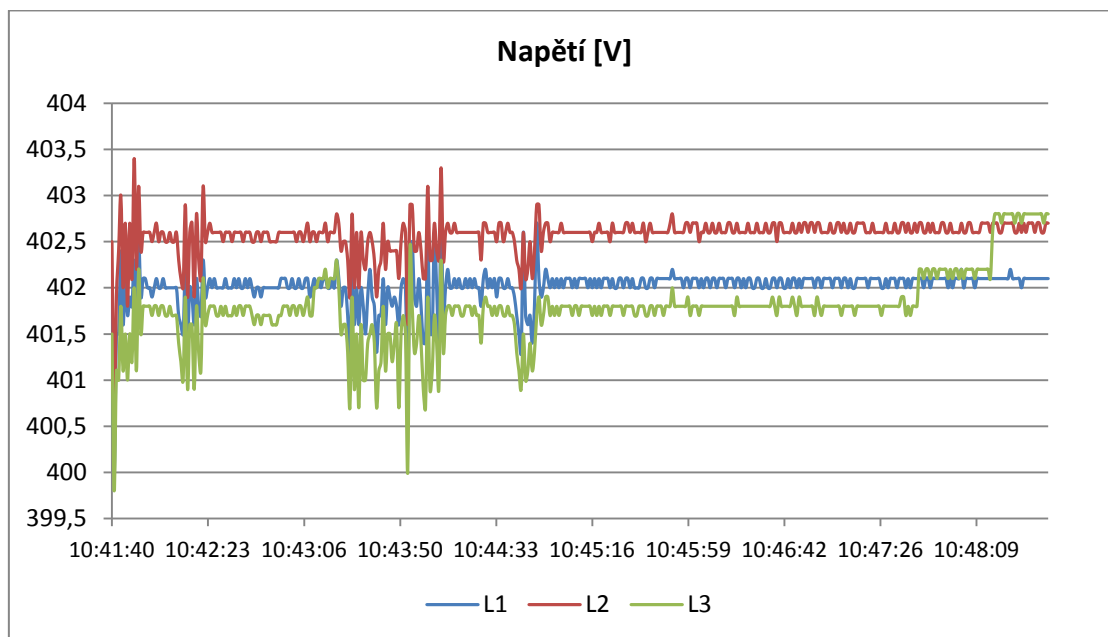
Na časové ose (osa x) jsem ponechal skutečný čas měření.



Graf 4 Průběh napětí 400 V při zapnutí pojezdů SVH 1800

Na tomto průběhu lze pouze vyčíst čas zapnutí dieselaagregátu (10:19). Hodnota napětí z dieselaagregátu je 402 V. Rozjezd pohonů housenicových podvozků, které jsou řízeny frekvenčními měniči se na hladině napětí projevuje jen velmi nepatrně.

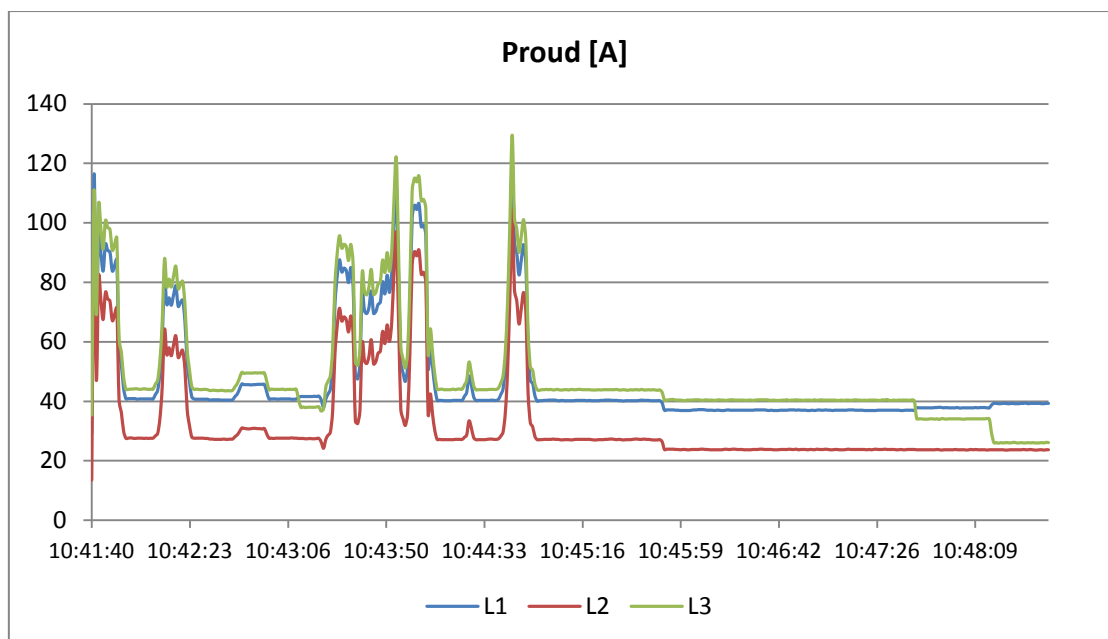
Proto jsem v dalším grafu (graf 5) upravil osu y (hodnota napětí) a na ose x (časová osa) jsem posunul počátek spuštění pojezdových motorů na 0.



Graf 5 Průběh napětí 400 V při zapnutí pojezdů SVH 1800 (výřez z grafu 4)

Zde je již patrný pokles napětí z hodnoty 402 V na hodnotu 400 V.

4.4.2 Průběh proudu při zapnutí pojezdu shazovacího vozu



Graf 6 Průběh proudu při zapnutí pojezdů SVH 1800

Na tomto grafu již je patrné, že v době měření došlo ke třem zapnutím pojezdu shazovacího vozu. Při prvním pojezdě (čas 10:41:40) byla obsluhou shazovacího vozu nastavena nejnižší rychlost pojezdu (obsluha má k dispozici na ovládacím pultu možnost volby tří stupňů rychlosti). Při tomto pojezdě jsem naměřil proud 110 A.

Při druhém pojezdě shazovacího vozu byl obsluhou nejdříve navolen první stupeň rychlosti a potom zařazen druhý stupeň rychlosti (čas 10:44:00). Při tomto pojezdě jsem naměřil hodnotu proudu 115 A.

Při třetím pojezdě byl obsluhou rovnou nastaven třetí (nejvyšší) stupeň rychlosti (čas 10:44:45). Při tomto pojezdě jsem naměřil nejvyšší hodnotu proudu 129,5 A.

Z průběhu proudu je dále patrné, že proud v jedné fázi (L2) je o 20 A menší než ve zbývajících fázích. Na těchto dvou fázích je připojeno 6 klimatizačních jednotek, které udržují v rozvodně shazovacího vozu stálou teplotu a v průběhu měření byly klimatizační jednotky v provozu.

Všechna měření jsem provedl ze čtyř motorů pojezdu najednou (čtyři housenicové podvozky).

5. Porovnání variant

5.1 Porovnání rekonstrukcí shazovacích vozů

Rekonstrukce shazovacího vozu SVH 2250 proběhla v roce 2004. Tehdy bylo rozhodnuto pouze o rekonstrukci částečné. Při rekonstrukci došlo k celkové výměně kabeláže, řídicího systému a rozvodny s kompletním vybavením jak vysokonapěťové části, tak i rozvaděčů 500 V. Motory všech pohonů zůstaly původní z roku 1991. V průběhu provozu procházejí motory každý měsíc diagnostickým měřením na vibrace (zjišťuje se stav ložisek) a roční hloubkovou revizí, při které jsou motory demontovány a podrobeny výměně ložisek a hloubkové revizi. Původní reléovou logiku nahradil řídicí systém ZAT.

Rekonstrukce shazovacího vozu SVH 1800 proběhla v roce 2013 a jednalo se o rekonstrukci celkovou. Původní nasazené motory (stáří 30 let) byly nahrazeny novými motory od firmy Siemens, rotorové spouštěče byly nahrazeny frekvenčními měniči SIMATICS od firmy Siemens, vše je řízeno mikroprocesory. Při rekonstrukci došlo k výměně všech kabelových vedení.

Vzhledem k časovému odstupu (obě rekonstrukce dělí téměř 10 let) a rozdílného objemu obou rekonstrukcí je velmi složité porovnávat obě rekonstrukce po cenové stránce. K těmto citlivým údajům nemám v naší společnosti přístup. Mohu tedy čerpat a uveřejnit údaje z veřejných webových stránek.

Oba porovnávané shazovací vozy mají přívodní napětí 6 kV. Rozdílné je to, že na SVH 2250 je rozvod napětí po celém shazovacím voze (hlavní pohony pásku jsou na napětí 6 kV), na SVH 1800 končí napětí 6 kV na primární straně přívodního transformátoru.

Cena frekvenčního měniče SIMATICS S 120 od firmy Siemens o výkonu 75 kW se dnes pohybuje od 190 000 Kč do 220 000 Kč.

Cena frekvenčního měniče SIMATICS G 120 od firmy Siemens o výkonu 7,5 kW (pohon otoče vynášecího pásku) je 25 000 Kč.

Cena pojezdového motoru typu 1LG6 283-A60-Z od firmy Siemens je 95 000 Kč. [16]

Ceny frekvenčních měničů v posledních letech díky vývoji výkonové elektroniky výrazně klesají. Pokud by došlo v roce 2004 k celkové rekonstrukci SVH 2250 a rotorové spouštěče by byly nahrazeny frekvenčními měniči, cena by výrazně přesáhla cenu rekonstrukci SVH 1800 v roce 2013.

5.2 Porovnání způsobů spouštění pojezdů shazovacího vozu

Pro spuštění motorů pojezdu SVH 2250 se používají rotorové spouštěče o čtyřech stupních. Jednotlivé stupně jsou vyřazovány pomocí stykačů. Z naměřeného průběhu proudu při pojezdu SVH 2250 (graf 3) je zřejmé, že záběrný proud při spuštění pojezdových motorů je 480 A. To je hodnota ze všech podvozků shazovacího vozu. Kontakty stykače prvního rotorového stupně pro jeden motor prochází proud o velikosti 120 A. Kontakty stykačů rotorových stupňů jsou dimenzovány na proud 100 A. Proto dochází k opalování těchto kontaktů a je nutná v každé roční revizi výměna těchto stykačů. Náhrada za jiný typ (140 A) není možná vzhledem k rozměrům stykačů tohoto typu a jeho umístěním v rozvaděči. Záběrný proud v momentě zapnutí pojezdu prochází i ostatním elektrickým zařízením (přívodní kabely, motor) a i zde dochází k rychlejšímu opotřebení. Spouštění pojezdových motorů rotorovými spouštěči klade i větší nápor na strojní součásti housenicových podvozků.

Další problém je pokles napětí náhradního zdroje při zapnutí pojezdu. Tento pokles občas způsobí výpadek vypínače 500 V důsledkem poklesu ovládacího napětí (graf 2, kap. 4. 3. 1).

Pro spuštění motorů pojezdu SVH 1800 se používají frekvenční měniče. Z průběhů napětí a proudů (graf 5, graf 6) vyplývá, že elektrické zařízení při spuštění pojezdových motorů není tak namáháno jako na SVH 2250. Proud v elektrickém zařízení dosahuje při pojezdu maximálních hodnot 30 A (Graf 6, hodnota 120 A je sumární hodnotou pro 4 housenicové podvozky). Pokles napětí náhradního zdroje se při zapnutí motorů pojezdu téměř neprojevuje (Graf 5, pokles o 2 V).

Spouštění pojezdových motorů pomocí frekvenčních měničů je i výrazně šetrnější k strojním součástem housenicových podvozků.

Za dobu provozu shazovacího vozu SVH 2250 od rekonstrukce zde došlo ke čtyřem poruchám pojezdu. Ve třech případech se jednalo o poruchu rotorového stykače prvního stupně (upálení stykačů). V jednom případě došlo ke spálení statorového vinutí motoru podvozku.

Shazovací vůz SVH 1800 je od rekonstrukce v provozu jeden rok a za tuto dobu se žádná porucha na pojezdech neprojevila. K objektivnímu porovnání spolehlivosti řízení motorů frekvenčními měniči je zapotřebí delší doba zařízení v provozu.

Závěr

Povrchový uhelný důl Bílina je velmi rozsáhlé pracoviště s velkým počtem složitých technických zařízení od dobývacích velkostrojů, přes poháněcí stanice dálkových pasových dopravníků, až po shazovací vozy a zakladače. Některá tato zařízení se již pohybují na hraně životnosti nebo se k ní blíží. Protože předpokládaná těžba na Dole Bílina má být ukončena až v roce 2040 (pokud nebudou prolomeny vládní limity), je zřejmé, že tato zařízení bude třeba v následných letech rekonstruovat. Společnost Severočeské doly a. s. již nyní vynakládá nemalé prostředky pro obnovu těchto zařízení i pro výstavbu zařízení zcela nových.

Pro řízení motorů těchto nově rekonstruovaných technických zařízení se používá řízení pomocí frekvenčních měničů. Řízení poháněcích motorů frekvenčními měniči šetří nejen elektrické, ale i strojní části daných zařízení.

V diplomové práci jsem popisoval a porovnával rekonstrukci dvou shazovacích vozů, které probíhaly v časovém odstupu deseti let.

V další části diplomové práce jsem se zabýval měřením napětových a proudových poměrů při pojezdu těchto shazovacích vozů při napájení z náhradního zdroje. Průběhy měření ukazují na výhodnost použití k řízení asynchronních motorů frekvenčních měničů.

Rekonstrukcí projde postupně převážná většina technických zařízení na Dole Bílina a v trendu, který je zde nastaven, frekvenční měniče postupně nahradí rotorové spouštěče.

Do pozadí tak ustupuje postava klasického silnoprůdého elektrikáře a na provozní elektrikáře je vytvářen větší tlak na vzdělávání z důvodů složitějších technologií.

Seznam použité literatury

- [1] HAVELKA, Jiří, DRESLER, Jaromír, JÍLEK, Vladimír. *Montáž, údržba a opravy elektrických strojů točivých*. Praha: STRO.M, 1995. 227 s.
- [2] ELEKTROPRIM- KOUTNÍK, a. s. *Dodávka a montáž dieselagregátů na shazovací vozy SV 2250 a SV 196: projekt*. 2010
- [3] NOEN A. S.PRAHA. *Návod k používání SVH 2250: Bezpečnostní a provozní předpisy pro provoz, obsluhu a údržbu*. Chrudim, srpen 2004.
- [4] PRODECO. *Technická zpráva a návod na spuštění: Napájení shazovacího vozu SVH 2250 ze zakladače ZP 5500.5*. 09/2004.
- [5] PRVNÍ ELEKTRO. *Rozvodna RSV 2- 6/ PE pro SV 2250: silová a ovládací schémata*. 30. 6. 2004.
- [6] MRAVENEC, R. *Elektrické stroje a přístroje: I.Elektrické stroje*. Praha: SNTL/ALFA – Nakladatelství technické literatury, 1979. 432 s.
- [7] ELEKTROPRIM- KOUTNÍK, a. s. *Návod k použití SVH 1800:projekt 01/2013*
- [8] BAŠTA, J., CHLÁDEK, J., MAYER, I. *Teorie elektrických strojů*. vyd. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, n. p, 1968. 584 s.
- [9] CIGÁNEK, Lad. *Elektrické stroje*. Praha: Vědecko-technické nakladatelství, 1950. 814 s.
- [10] ROUBÍČEK, Ota. *Elektrické motory a pohony*. Praha: BEN-technická literatura, 2004. 192 s. ISBN 80-7300-092-X.
- [11] TENEL ČR Praha. *Návod k použití spouštěčů TE-2*. Praha, 2012
- [12] Skalický, J. *Elektrické regulované pohony*. Elektronické skriptum. Brno: FEKT VUT v Brně.

Elektronické zdroje

- [13] KOCMAN, S. 2000. Synchronní stroje. Ostrava: VŠB-TUP, Katedra obecné elektrotechniky, 2000, 10s. [online] [cit. 2014-26-04] Dostupný z www: URL: <http://fei.vsb.cz/kat452/Vsb.cz/elektrotechnika/sylaby/synchronni%20stroje.pdf>
- [14] SINAMICS drives, Siemens s. r o, 2011, [online] [cit. 2014-26-4] Dostupný z www: URL: http://stest1.etnetera.cz/brochure_simatics_drives_2011_cz.Pdf
- [15] Analyzátor elektrické sítě QULISTAR-CA 8334, [online] [cit. 2014-26-4] Dostupný z www: tr instruments.cz/ca-8334-qualistar
- [16] Elektromotory Siemens, [online] [cit. 2014-5-5] Dostupný z <http://www.elektromotory.com/elektromotory-siemens-rady-1la7-3000-otacek/1lg4280-2ab-75kw-2975ot.html>

Seznam obrázků

Obr. 1 Celkový pohled na shazovací vůz typu SVH 2250 (1- náběžníková část, 2- hlavní smyčková část, 3- vynášecí pásek s protizávažím, 4- housenicové podvozky)	2
Obr. 2 Housenicový podvozek shazovacího vozu SVH 2250	5
Obr. 3 Shazovací vůz SVH 1800	8
Obr. 4 Pohon pojezdu shazovací vozu SVH 1800	10
Obr. 5 Asynchronní motor s kotvou nakrátko (1- stator, 2- vinutí statoru, 3- rotor, 4- hřídel, 5- ventilátor) [1]	14
Obr. 6 Konstrukce motoru s kroužkovou kotvou [1]	15
Obr. 7 Momentová charakteristika asynchronního stroje [9]	18
Obr. 8 Přímé připojení AM s kotvou nakrátko k síti [1]	19
Obr. 9 Připojení AM s kotvou nakrátko k síti přepínačem hvězda – trojúhelník [1]	20
Obr. 10 Spouštění AM s kotvou nakrátko pomocí transformátoru [1]	22
Obr. 11 Dvojitá klec a) funkce, b) momentová charakteristika [6]	24
Obr. 12 Vírová klec a) rozložení indukčních čar v kleci, b) rozložení proudu při rozběhu, c) rozložení proudu za chodu, d) momentová charakteristika vírové klece [6]	25
Obr. 13 Tvary tyčí vírové klece [6]	26
Obr. 14 AM s kroužkovou kotvou pomocí rotorového spouštěče [6]	27
Obr. 15 Blokové schéma spouštěče TE – 25 [11]	29
Obr. 16 Blokové schéma frekvenčního měniče [13]	31
Obr. 17 Frekvenční měnič SINAMICS S 120 [14]	33
Obr. 18 Frekvenční měnič SIMATICS G 120 [14]	34
Obr. 19 Dieselaagregát GEP 550 – 2	35
Obr. 20 Motor a agregát GEP 550 – 2	35
Obr. 21 Zjednodušené silové schéma připojení 500 V z dieselaagregátu na stávající rozvod shazovacího vozu [2]	37
Obr. 22 Silové zapojení jednoho podvozku SVH 2250 [5]	38
Obr. 23 Schéma zapojení pojezdového motoru na SVH 1800 [7]	39
Obr. 24 Analyzátor sítě Qualistar 8334 [15]	40

Seznam grafů

Graf 1 Průběh napětí 500 V při zapnutí pojezdů SVH 2250	41
Graf 2 Průběh ovládacího napětí 230 V při zapnutí pojezdů SVH 2250	42
Graf 3 Průběh proudu při zapnutí pohonů pojezdů shazovacího vozu SVH 2250	44
Graf 4 Průběh napětí 400 V při zapnutí pojezdů SVH 1800	45
Graf 5 Průběh napětí 400 V při zapnutí pojezdů SVH 1800 (výřez z grafu 4)	46
Graf 6 Průběh proudu při zapnutí pojezdů SVH 1800	46

Seznam tabulek

Tab. 1 Seznam hlavních pohonů SVH 2250	7
Tab. 2 Seznam hlavních pohonů SVH 1800	12

Přílohy

Příložené CD

JEL0021_příloha_DP_naměřená data